



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

Estudi, redisseny i anàlisi de la llanda de la roda de tracció de la motocicleta Honda CBR600F

Grau en Enginyeria Mecànica

Alumne: Àlex Carnicero Cortés

Director: Albert Catalan Artigas

Convocatòria extraordinària de lliurament del TFG del quadrimestre de tardor 19-20

Index

AGRAÏMENTS	8
1 INTRODUCCIÓ	9
1.1 DEFINICIÓ GENERAL DE L'ESTUDI.....	9
1.2 MOTIVACIÓ	9
1.3 ABAST	9
1.4 OBJECTIU	10
2 ESTAT DE L'ART	11
2.1 DESCRIPCIÓ DE LA MOTOCICLETA	11
2.2 DESCRIPCIÓ DE LA LLANDA.....	11
2.3 TIPUS DE LLANDES	13
2.3.1 <i>Disseny constructiu</i>	13
2.3.2 <i>Materials</i>	14
2.4 MOTOCICLETA I LLANDA DE L'ESTUDI	18
2.5 COMPETÈNCIA.....	19
2.6 NORMATIVA	21
3 DESCRIPCIÓ DELS CASOS DE CÀRREGA	22
3.1 OBTENCIÓ DE LES CÀRREGUES SOBRE LES LLANDES.....	22
3.2 PITJOR CAS DE CÀRREGA	23
3.2.1 <i>Frenada</i>	24
3.2.2 <i>Acceleració</i>	26
3.2.3 <i>Comparació de resultats</i>	28
3.3 FORCES APLICADES A LA LLANDA	28
3.3.1 <i>Parell torsor</i>	28
3.3.2 <i>Pes</i>	29
3.3.3 <i>Pressió dels pneumàtics</i>	30
3.4 RESULTATS	30
4 DESCRIPCIÓ DE L'ANÀLISI	31
4.1 DESCRIPCIÓ DEL MODEL CAD	31
4.1.1 <i>Descripció del model CAD per la llanda original</i>	32

4.1.2	<i>Descripció del model CAD per la llanda proposada 1</i>	33
4.1.3	<i>Descripció del model CAD per la llanda proposada 2</i>	34
4.1.4	<i>Descripció del model CAD per la llanda proposada 3</i>	36
4.1.5	<i>Descripció del model CAD per la llanda proposada 4</i>	37
4.2	DESCRIPCIÓ DEL MODEL FEM	38
4.2.1	<i>Imatges malles</i>	39
4.3	DESCRIPCIÓ DE LES CÀRREGUES I RESTRICCIONS	42
4.3.1	<i>Càrregues</i>	42
4.3.2	<i>Restriccions</i>	44
4.4	RESULTATS DELS ANÀLISIS	45
4.4.1	<i>Llanda original</i>	46
4.4.2	<i>Llanda proposada 1</i>	48
4.4.3	<i>Llanda proposada 2</i>	50
4.4.4	<i>Llanda proposada 3</i>	52
4.4.5	<i>Llanda proposada 4</i>	53
4.5	RESUM DE L'ANÀLISI	54
5	PRESSUPOST	56
6	CONCLUSIONS	57
7	FUTURES ACCIONS	58
8	BIBLIOGRAFIA	59
9	ANNEXES	60
9.1	ANNEXES CÀLCULS	60
9.1.1	<i>Força frenada</i>	60
9.1.2	<i>Gir roda posterior</i>	60
9.1.3	<i>Força acceleració</i>	61
9.1.4	<i>Pes total</i>	62
9.1.5	<i>Densitats malla model FEM</i>	62
9.2	ANNEXES PLÀNOLS	63
9.2.1	<i>Plànol llanda original</i>	63
9.2.2	<i>Plànol llanda proposada 4</i>	65
9.3	ANNEXES REPORTS DE SOLIDWORKS	66

9.3.1	<i>Report simulació llanda inicial a 60º</i>	67
9.3.2	<i>Report simulació llanda proposada 1 a 0º.....</i>	80
9.3.3	<i>Report simulació llanda proposada 2 a 60º</i>	93

Index il·lustracions

Il·lustració 1: Parts d'una motocicleta	11
Il·lustració 2: Parts d'una motocicleta	12
Il·lustració 3: Llanda de radis d'acer	13
Il·lustració 4: Llanda de fundició d'aliatge d'alumini	14
Il·lustració 5: Llanda forjada d'aliatge de magnesi	14
Il·lustració 6: Motocicleta Steffey de l'any 1901 amb llandes de fusta	15
Il·lustració 7: Motocicleta Münch Mammoth de l'any 1966 amb llanda posterior de fundició.....	15
Il·lustració 8: Llanda de composite Comstar d'Honda del 1977	16
Il·lustració 9: Motocicleta KTM off-road amb llandes de radis d'acer	16
Il·lustració 10: Triumph Rocket 3 R 2020.....	17
Il·lustració 11: Llandes forjades de magnesi Marchesini M7RR Genesi	17
Il·lustració 12: Llandes de fibra de carboni.....	18
Il·lustració 13: Honda CBR 600 F4i 2004 vermella (esquerra)	18
Il·lustració 14: Llanda posterior Honda CBR 600 F4i 2004 (esquerra).....	19
Il·lustració 15: Yamaha YZF R6 2004 (esquerra).....	19
Il·lustració 16: Llanda posterior Yamaha YZF R6 2004 (dreta)	19
Il·lustració 17: Suzuki GSX-R 600 2004 (esquerra)	20
Il·lustració 18: Llanda posterior Suzuki GSX-R 600 2004 (dreta).....	20
Il·lustració 19: Kawasaki ZX6R 2004 (esquerra).....	20
Il·lustració 20: Llanda posterior Kawasaki ZX6R 2004 (dreta).....	20
Il·lustració 21: Triumph Daytona 600 2004 (esquerra).....	21
Il·lustració 22: Llanda posterior Triumph Daytona 600 2004 (dreta)	21
Il·lustració 23: Diagrama de forces frenada (esquerra).....	22
Il·lustració 24: Diagrama de forces acceleració (dreta).....	22
Il·lustració 25: Sistema de frenat tren anterior (esquerra).....	24
Il·lustració 26: Sistema de frenat tren posterior (dreta).....	24
Il·lustració 27: Diferència de frenada en funció del fre utilitzat	24
Il·lustració 28: Diagrama de forces de frenada a la llanda.....	25
Il·lustració 29: Diagrama de forces de frenada a la llanda.....	26
Il·lustració 30: Diagrama de forces d'acceleració a la llanda.....	26
Il·lustració 31: Diagrama de forces d'acceleració a la llanda.....	27
Il·lustració 32: Diagrama de parells torsors a la llanda	28

Il·lustració 33: Diagrama del pes a la llanda.....	29
Il·lustració 34: Diagrama de pressions a la llanda.....	30
Il·lustració 35: Diagrama de forces a la llanda	30
Il·lustració 36: Vistes model CAD llanda inicial amb cdg i eixos de coordenades ..	32
Il·lustració 37: Model CAD llanda original (esquerra).....	33
Il·lustració 38: Model CAD llanda proposada 1 (dreta)	33
Il·lustració 39: Model CAD llanda original (esquerra).....	34
Il·lustració 40: Model CAD llanda original (esquerra).....	34
Il·lustració 41: Model CAD llanda original (esquerra).....	35
Il·lustració 42: Model CAD llanda proposada 2 (dreta)	35
Il·lustració 43: Vista secció transversal model CAD llanda original (esquerra)	35
Il·lustració 44: Vista secció transversal model CAD llanda proposada 2 (dreta).....	35
Il·lustració 45: Vistes model CAD llanda proposada 3	36
Il·lustració 46: Vistes model CAD llanda proposada 4	37
Il·lustració 47: Model mallat llandes original i proposada 3 (vista isomètrica).....	39
Il·lustració 48: Model mallat llandes original i proposada 3 (vista frontal)	39
Il·lustració 49: Model mallat llanda proposada 1 (vista isomètrica)	40
Il·lustració 50: Model mallat llanda proposada 1 (vista frontal).....	40
Il·lustració 51: Model mallat llandes proposades 2 i 4 (vista isomètrica).....	41
Il·lustració 52: Model mallat llandes proposades 2 i 4 (vista frontal)	41
Il·lustració 53: Model FEM mallat llanda original amb càrregues	42
Il·lustració 54: Angles simulació model FEM mallat llanda original amb càrregues	43
Il·lustració 55: Model FEM mallat llanda original i detall amb restriccions	44
Il·lustració 56: Detall ranura corona model CAD llanda original	44
Il·lustració 57: Resultats anàlisi pitjor cas (60°) llanda original	46
Il·lustració 58: Detall resultats anàlisi pitjor cas (60°) llanda original	47
Il·lustració 59: Resultats anàlisi pitjor cas (30°) llanda proposada 1	48
Il·lustració 60: Detall resultats anàlisi pitjor cas (30°) llanda proposada 1	49
Il·lustració 61: Resultats anàlisi pitjor cas (90°) llanda proposada 2	50
Il·lustració 62: Detall Resultats anàlisi pitjor cas (90°) llanda proposada 2	51

Index taules

Taula 1: Especificacions Honda CBR 600 F4i 2004 (dreta)	18
Taula 2: Característiques llanda posterior Honda CBR 600 F4i 2004.....	19
Taula 3: Comparació sistemes de frenat de rodes davantera i trassera	24
Taula 4: Resultats test frenada	25
Taula 5: Especificacions llanda original.....	33
Taula 6: Especificacions llanda proposada 1	33
Taula 7: Especificacions llanda proposada 2	35
Taula 8: Especificacions llanda proposada 3	36
Taula 9: Especificacions llanda proposada 4	37
Taula 10: Resultats mallats dels models FEM	38
Taula 11: Especificacions llanda original.....	46
Taula 12: Resultats anàlisis en tots els angles llanda original.....	46
Taula 13: Resultats anàlisis llanda original	47
Taula 14: Especificacions llanda proposada 1	48
Taula 15: Resultats anàlisis en tots els angles llanda proposada 1	48
Taula 16: Resultats anàlisis llanda proposada 1	49
Taula 17: Especificacions llanda proposada 2	50
Taula 18: Resultats anàlisis en tots els angles llanda proposada 2	50
Taula 19: Resultats anàlisis llanda proposada 3.....	51
Taula 20: Especificacions llanda proposada 3	52
Taula 21: Resultats anàlisis llanda proposada 3.....	52
Taula 22: Especificacions llanda proposada 4	53
Taula 23: Resultats anàlisis llanda proposada 4.....	53
Taula 24: Comparativa especificacions i resultats anàlisis totes les llandes	55
Taula 25: Pressupost de l'estudi.....	56

Agraïments

Abans d'introduir el treball, haig de fer menció especial a diverses persones que han estat molt importants per poder fer aquest grau i aquest treball. Els primers, els meus pares, que han estat sempre per ajudar-me en tot el que he necessitat i més, i que sempre ho estaran.

També vull agrair a l'Albert Catalan, director del projecte, que m'ha ajudat en tots els dubtes que he tingut i m'ha guiat perfectament per poder realitzar un treball de final de grau a l'alçada.

I per últim, a totes les persones que m'ajuden i estimen dia a dia i que fan la vida més senzilla, amics, família, companys...

1 Introducció

1.1 Definició general de l'estudi

El projecte es basa en analitzar el disseny de la llanda de la roda posterior (tracció) de la motocicleta Honda CBR 600 F4i de l'any 2004, utilitzant un software d'Elements Finitis (Solidworks 2019). Es redissenya la llanda original invertint els radis i s'analitza per comparar amb els resultats del model original. Mitjançant aquesta comparativa, es defineixen els criteris i objectius del redisseny a fer. Es fan 3 iteracions de redisseny de la llanda original per millorar aquesta i finalment es comparen els resultats un cop fets els anàlisis de les iteracions.

1.2 Motivació

El que es pretén amb aquest estudi és resoldre un dubte intern de l'alumne. Aquest dubte és si invertint la direcció dels radis de la llanda de tracció de la motocicleta Honda CBR 600 F4i de l'any 2004 es pot aconseguir augmentar el Factor de Seguretat de la llanda i conseqüentment, baixar pes, inèrcia, etc. El pes i la inèrcia en una massa en rotació és crític pel que fa a comportament dinàmic en una motocicleta i millorant aquestes característiques, es millorarien les prestacions de la motocicleta (acceleració, maniobrabilitat, frenada, etc.). Per tant, totes les possibles solucions que surtin d'aquest redisseny haurien de tenir avantatges de rendiment respecte el model original.

1.3 Abast

- Recopilar informació de l'Estat de l'Art del tema escollit
- Fer CAD del disseny original
- Anàlisi FEM del disseny original
- Fer CAD del disseny proposat
- Anàlisi FEM del disseny proposat
- Comparativa de resultats de l'anàlisi del disseny proposat en base als resultats de l'anàlisi i les especificacions del disseny original
- Iterar el CAD del disseny proposat per tal de millorar les especificacions i resultats de l'anàlisi de la llanda original (massa, inèrcia, factor de seguretat...)
- Documentar (memòria, annexes, càlculs, plànols...)

Queda fora de l'abast d'aquest projecte:

- L'efecte de l'aerodinàmica i les càrregues resultants d'altres factors externs que no siguin acceleració i frenada de la motocicleta
- Els anàlisis dinàmics i de fatiga (es faran únicament anàlisis estàtics)

1.4 Objectiu

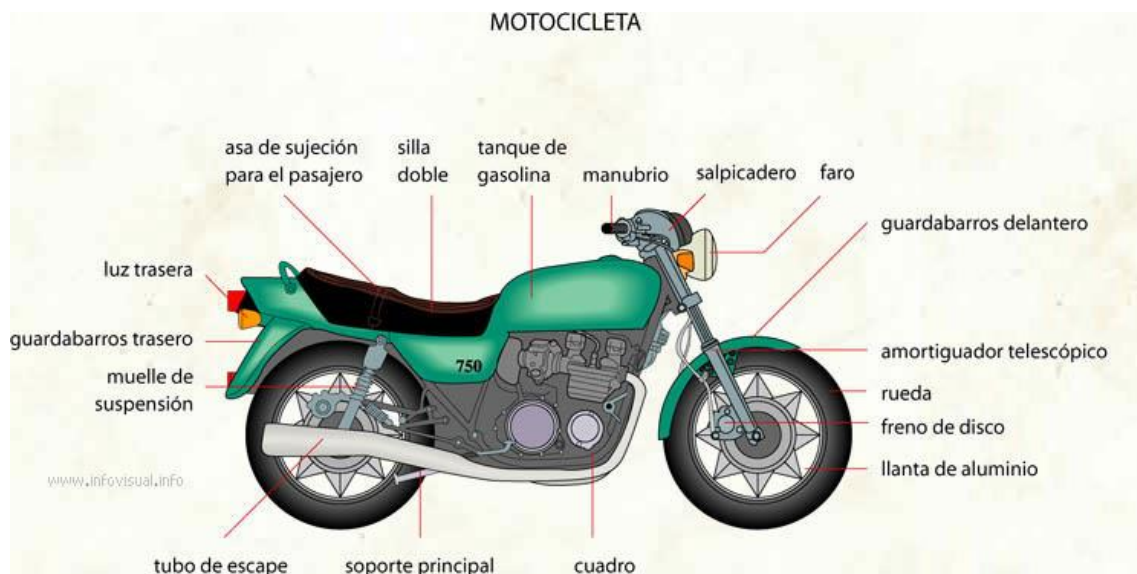
L'objectiu d'aquest Projecte de Final de Grau (PFG) és redissenyar la llanda original, té com a punt de partida l'anàlisi de la llanda original. Un cop redissenyada la llanda, invertint els radis, s'ha analitzat el seu comportament mecànic utilitzant un software d'Elements Finitis (Solidworks) i s'han comparat amb els resultats de la llanda original. Posteriorment, s'han definit els criteris i objectius del redisseny desenvolupant unes especificacions inicials que s'han contrastat un cop finalitzat l'anàlisi per aconseguir augmentar el Factor de Seguretat de la llanda i conseqüentment, baixar pes, inèrcia, etc. per millorar les prestacions de la motocicleta (acceleració, maniobrabilitat, frenada, etc.).

2 Estat de l'art

2.1 Descripció de la motocicleta

Primerament, es defineix la part més global del grup d'estudi: la motocicleta. Aquesta és la màquina en la qual es troba l'objecte d'estudi en aquest treball, la llanda posterior.

Segons el DIEC (Diccionari de la llengua catalana de l'Institut d'Estudis Catalans), *una motocicleta és un vehicle automòbil de dues rodes, proveït de motor de combustió interna, que pot transportar un passatger o dos*. Amb aquesta explicació, es pot entendre que les motocicletes són vehicles de dues rodes moguts per un motor (de combustió interna o elèctric) que transmet la seva força a la roda motriu (la roda posterior) per poder-se desplaçar. Les peces o estructures que ajuden a transmetre el parell motor (juntament amb el pneumàtic, corona, cadena, pinyó, peces rotatives del motor, etc.) són les llandes.

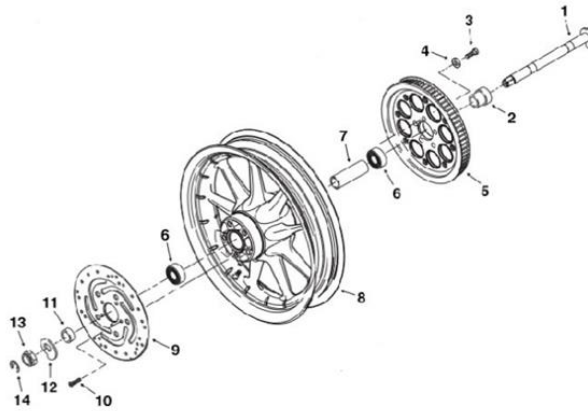


Il·lustració 1: Parts d'una motocicleta

2.2 Descripció de la llanda

Segons el DIEC, *una llanda és una peça metàl·lica on va muntat el pneumàtic d'un vehicle*. Per una banda, les llandes han de suportar el propi pes de la motocicleta (xassís, motor i elements auxiliars), del pilot i de l'acompanyant en cas d'haver-ne. Per altra banda, les llandes han de suportar els esforços dinàmics originats per la conducció de la motocicleta deguts a l'acceleració, la frenada i els canvis de direcció sense minvar l'agilitat, l'adherència i el confort en la conducció.

En el cas que ocupa aquest estudi és la llanda posterior. Aquesta està connectada a la motocicleta a través de 3 elements:



Il·lustració 2: Parts d'una motocicleta

- Eix (1): està dissenyat per guiar el moviment de rotació a la roda de la motocicleta i acostuma a estar fabricat en alumini (també es pot fer en altres materials més lleugers per reduir pes), està col·locat a la ranura que creua la llanda pel centre. També s'utilitza per fixar la llanda a la motocicleta, permetent únicament rotació respecte l'eix posterior d'aquesta i restringint la translació lliure de les rodes, fent que només es pugui moure conjuntament amb el basculant per donar tracció i amortir.
- Disc de fre (9): és una peça circular feta en acer que té la funció de reduir la velocitat de rotació de la roda, mitjançant la fricció amb les pastilles de fre, amb l'objectiu final de frenar la motocicleta. Està fixat a la llanda per cargols a un costat d'aquesta (com es pot veure a la il·lustració 2).
- Corona (5): és una peça circular dentada d'alumini que té la funció de transmetre la força del motor que arriba a través de la cadena a la roda posterior per poder accelerar la motocicleta. Aquest s'encaixa al lateral de la llanda mitjançant cargols en una ranura.

És necessària una alta rigidesa i resistència als esforços de compressió, torsió i flexió produïts principalment per les frenades, les forces de transmissió (acceleració) i els sots que pugui haver a l'asfalt, garantint així una mínima deformació i variació de la seva geometria, fet que garanteix la seguretat del pilot i proporciona una bona conducció al vehicle.

Degut a la gran quantitat de variables que intervenen en el disseny de les llandes de motocicleta, s'han adoptat diferents tipus de solucions en funció de les necessitats de la conducció i la motocicleta (off-road, circuit, carretera, etc.).

2.3 Tipus de llandes

Les llandes es poden classificar segons el disseny constructiu i el material.

2.3.1 Disseny constructiu

En funció de disseny constructiu es poden diferenciar:

- **De radis:** aquestes estan formades per tres parts, que són la boixa, els radis i el cercol de la llanda. Aquestes s'utilitzen principalment per motocicletes off-road degut a que són molt resistents (a més, poden seguir utilitzant-se fins i tot quan estan doblades i trencades), són barates i són fàcils de reparar (canviant qualsevol de les tres parts que les formen).



Il·lustració 3: Llanda de radis d'acer

- **Llandes d'aliatge de fundició:** aquestes es fan mitjançant un motlle al que se li afegeix alumini fos per donar-li la forma desitjada. Un gran inconvenient d'aquestes llandes és que acaben amb porositats. Les porositats són els espais físics que hi ha dins del material un cop s'ha refredat, cosa que fa que la llanda tingui punts febles a l'interior. Els avantatges d'aquestes llandes són que són barates, fàcils i ràpides de fabricar, ideals per motocicletes de producció en sèrie. Les seves característiques fan que siguin més que suficients per ús urbà i quotidià. Si s'utilitzen en circuit, és possible que entrin

en fallida i es trenquin, si més no una de més qualitat podria aguantar però essent més pesada.



Il·lustració 4: Llanda de fundició d'aliatge d'alumini

- **Llandes d'aliatge forjades:** aquestes es fan mitjançant la pressió que s'aplica a un bloc d'alumini (i a vegades magnesi) prèviament escalfat, sense arribar a fondre, per donar-li la forma desitjada. El benefici d'aquestes respecte les de fundició és la resistència i els millors acabats d'aquestes, a més de ser més lleugeres. Per contrapartida, són molt més cares de fabricar. Aquestes estan pensades per un ús molt més dur a circuit aprofitant les característiques que posseeixen.



Il·lustració 5: Llanda forjada d'aliatge de magnesi

2.3.2 Materials

Les primeres motocicletes tenien llandes de radis, com és el cas de la motocicleta Steffey. Aquesta tenia el cercol fet de fusta, mentre que la caixa i els radis eren metàl·lics (ferro). Un cop les motocicletes van evolucionar de ser simples bicicletes

amb un motor enganxat, les llandes es van anar sofisticant per poder fer front a les capacitats que oferien aquestes noves motocicletes.



Il·lustració 6: Motocicleta Steffey de l'any 1901 amb llandes de fusta

Al 1922, el fabricant Borrani va introduir les llandes amb cercol d'alumini a les motocicletes de producció.

Tot i que les llandes de fundició van ser utilitzades a automòbils amb anterioritat, no va ser fins el 1927 que el fabricant Böhmerland va construir una motocicleta a Txecoslovàquia que va introduir les llandes de fundició. Però no va ser fins a finals del 1966 que es van començar a utilitzar llandes de fundició d'aliatge (normalment d'alumini però a vegades magnesi) a la llanda posterior de la Münch Mammoth, una motocicleta d'altres prestacions presentada a l'Intermot de Colònia.



Il·lustració 7: Motocicleta Münch Mammoth de l'any 1966 amb llanda posterior de fundició

Al 1973, Elliott Morris va començar a produir llandes de 7 radis de fundició de magnesi per a motocicletes de competició.

Al 1977, Honda va presentar la seva llanda de composite Comstar, essent el primer fabricant que incloïa llandes que acceptaven pneumàtics sense càmera a les seves motocicletes.



Il·lustració 8: Llanda de composite Comstar d'Honda del 1977

Al 1995, el fabricant de llandes anglès Dymag va desenvolupar la primera llanda per motocicleta feta d'una peça en fibra de carboni. Amb el pas dels anys es va anar perfeccionant l'elecció de materials combinant-los per crear llandes que oferissin les millors característiques, com per exemple una llanda on el cercol estava fet en fibra de carboni i els radis en alumini o magnesi.

A l'actualitat, podem trobar llandes d'acer, alumini, magnesi, etc. El material emprat dependrà de les característiques que requereixi la llanda en concret per la motocicleta utilitzada. Existint:

- **Acer:** acostumen a ser de radis i són llandes senzilles que s'utilitzen per motocicletes de baixa cilindrada, baix pes i amb poques exigències de dinamisme. Aquestes són robustes, senzilles, barates i fàcils de reparar gràcies a que està formada per parts i es pot canviar qualsevol d'elles sense cap problema. Les motocicletes que les utilitzen són d'off-road principalment.



Il·lustració 9: Motocicleta KTM off-road amb llandes de radis d'acer

- **Alumini:** s'utilitza a la gran majoria de llandes d'aliatge (tant forjades com de fundició) degut al baix preu i a les bones característiques mecàniques que ofereix per motocicletes de carrer i, fins i tot, de circuit. Són més lleugeres

que les d'acer i milloren les característiques dinàmiques de la motocicleta, fet pel qual s'utilitza en la majoria de motocicletes de carrer i motocicletes d'alt rendiment de producció en sèrie.



Il·lustració 10: Triumph Rocket 3 R 2020

- **Magnesi:** s'utilitza en llandes més enfocades al rendiment en competició, ja que ofereix característiques molt similars a l'alumini amb un pes entre un 10% i un 20% inferior. Permeten millorar respecte les llandes d'alumini les prestacions d'acceleració, frenada, maniobrabilitat, etc. Permeten allargar el període entre equilibrats de rodes respecte les d'alumini. Per contrapartida, són inflamables si s'exposen a temperatures extremes (com incendis), la seva flama no s'extingeix amb aigua, es corroeixen si s'exposen a l'aire (fet pel qual han de ser revestides amb una capa d'imprimació) i, en cas de fallida, es trenquen i es poden fer fissures, així que són menys segures que les d'alumini. També són molt més cares que unes d'alumini.



Il·lustració 11: Llandes forjades de magnesi Marchesini M7RR Genesi

- **Fibra de carboni:** les llandes fetes amb aquest material tenen unes característiques molt millors que les fetes amb magnesi: poden arribar a reduir el pes un 50% i la inèrcia un 25%. Això és una millora molt notable i la qualitat de la conducció amb aquest material millora. La resina utilitzada

influirà molt en les característiques de la llanda. Aquestes tenen dos punts en contra molt grans: un d'ells és el preu. Poden arribar a costar fins el doble o el triple que unes bones llandes d' aliatge d'alumini forjat, fet que fa que el seu ús estigui quasi restringit a l'elit del motociclisme i a la competició. I l'altre és que, com les llandes de magnesi, si col·lapsen ho fan trencant-se i deixen la llanda inútil i poden arribar a ser perilloses per aquest fet.



Il·lustració 12: Llandes de fibra de carboni

2.4 Motocicleta i llanda de l'estudi

El model de motocicleta sobre el que es basa aquest estudi és una Honda CBR 600 F4i de l'any 2004, és una motocicleta que pot circular legalment per carretera i alhora s'utilitzava per esdeveniments de competició, per la qual cosa és considerada una motocicleta esportiva. Va ser una motocicleta molt popular a la primera dècada del segle XXI.



Il·lustració 13: Honda CBR 600 F4i 2004 vermella (esquerra)

Cilindrada	599cc
Potència	108 cv (12500 rpm)
Massa	170 kg
0-96 kmh	3,1 seg
96-0 kmh	38 m

Taula 1: Especificacions Honda CBR 600 F4i 2004 (dreta)

La llanda de la motocicleta Honda CBR 600 F4i de l'any 2004 que s'estudiarà serà la posterior, que aporta tracció a la motocicleta.



Tipus	Fundició
Material	Aliatge d'alumini
Massa	8,925 kg
Radis	3 radis inclinats amb perfil arrodonit
Tamany	17"
Pneumàtic	180/55

Il·lustració 14: Llanda posterior Honda CBR 600 F4i 2004 (esquerra)

Taula 2: Característiques llanda posterior Honda CBR 600 F4i 2004

2.5 Competència

Partint de la base que totes les motocicletes similars a la Honda CBR 600 F4i tenien les llandes fetes igualment d'aliatge d'alumini de fundició, per la qual cosa aquest no serà un tret diferencial entre elles, la competència per aquesta motocicleta a l'any 2004 eren les motocicletes de 600cc d'estil esportiu amb potència, pes i conducció molt similars a la de la Honda CBR 600 F4i. Aquestes motocicletes són:

- Yamaha YZF R6: les llandes difereixen únicament amb les de l'estudi en que tenen 5 radis en comptes de 3, el perfil dels radis és arrodonit com el de la Honda.



Il·lustració 15: Yamaha YZF R6 2004 (esquerra)

Il·lustració 16: Llanda posterior Yamaha YZF R6 2004 (dreta)

- Suzuki GSX-R 600: les llandes difereixen en que el centre d'aquestes té menys material perimetral, tenen uns petits orificis als extrems dels radis i aquests són rectes en comptes de corbats, i el perfil dels radis és angular en comptes d'arrodonit.



Il·lustració 17: Suzuki GSX-R 600 2004 (esquerra)



Il·lustració 18: Llanda posterior Suzuki GSX-R 600 2004 (dreta)

- Kawasaki ZX6R: les llandes difereixen amb les de l'estudi en que el centre d'aquesta està buidat i que els radis van en línia recta des de l'eix fins el cercol, mentre que els radis de la llanda de la Honda estan inclinats.



Il·lustració 19: Kawasaki ZX6R 2004 (esquerra)



Il·lustració 20: Llanda posterior Kawasaki ZX6R 2004 (dreta)

- Triumph Daytona 600: les llandes difereixen en que el centre d'aquestes té menys material perimetral, tenen uns petits orificis als extrems dels radis, els radis són rectes en comptes de corbats i aquests només tenen un petit nervi a l'extrem del radi a una banda enlloc de a les dues bandes.



Il·lustració 21: Triumph Daytona 600 2004 (esquerra)



Il·lustració 22: Llanda posterior Triumph Daytona 600 2004 (dreta)

2.6 Normativa

La normativa que aplica a motocicletes i llandes d'aquestes és d'ús públic però no gratuït, per la qual cosa no s'ha pogut tenir en compte en aquest estudi. La normativa és la següent:

- **UNE-EN 16029:2013** "Vehículos motorizados con conductor a bordo, destinados al transporte de personas y no destinados para su utilización en vías públicas. Requisitos de seguridad. Vehículos a motor de dos ruedas en línea".
- **UNE 26411:1991** "Vehículos de carretera. Masas de los ciclomotores y de las motocicletas de dos ruedas. Vocabulario".
- **UNE 26410:1992** "Vehículos de carretera. Dimensiones de los ciclomotores y de las motocicletas de dos ruedas. Denominaciones y definiciones".
- **UNE 69030:1996** "Neumáticos, llantas y válvulas. Neumáticos para motocicletas. Características dimensionales y llantas permitidas".
- **UNE 69021:1992** "Neumáticos, llantas y válvulas. Neumáticos para bicicletas, ciclomotores y motocicletas. Generalidades".
- **UNE 69008:2003** "Neumáticos, llantas y válvulas. Neumáticos para motocicletas. Recomendaciones relativas a la seguridad".

3 Descripció dels casos de càrrega

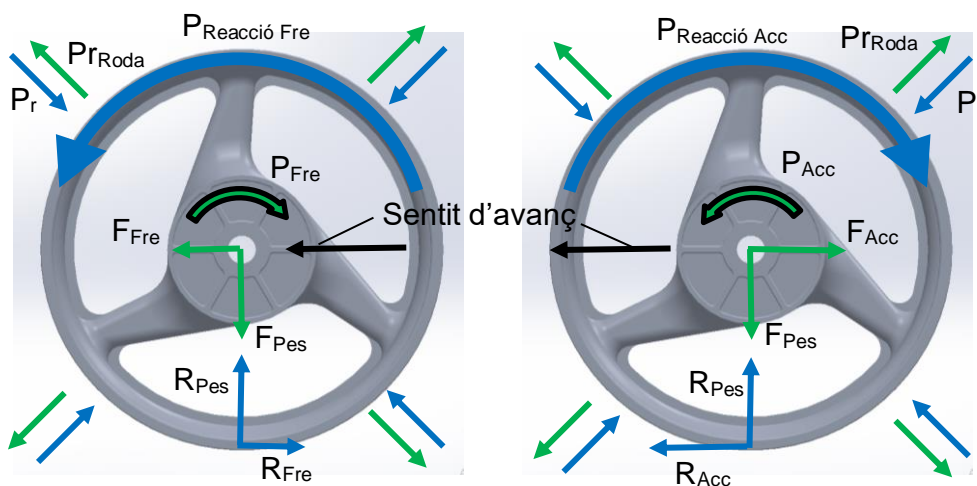
Per realitzar aquest estudi, es disposa de la motocicleta Honda CBR 600 F4i de l'any 2004 i de la llanda (propietat de l'alumne). S'han extret algunes dades directament sobre el comportament de la motocicleta.

S'han pres mesures de la llanda original (es troben als plànols).

3.1 Obtenció de les càrregues sobre les llandes

La llanda davantera de la Honda CBR 600 F4i de l'any 2004 té els radis orientats en sentit horari (mirant la motocicleta des de l'esquerra). Aquesta roda està sotmesa principalment a esforços de frenada i del propi pes de la motocicleta i el pilot, ja que no s'aplica tracció des del motor per accelerar la motocicleta i la força que arriba degut a l'acceleració és ínfima comparada amb la força per frenada. Per tant, si els radis estan orientats d'aquesta manera en la llanda davantera, la lògica és que a la llanda posterior (que té principalment forces de l'acceleració i del pes de la motocicleta i el pilot, és a dir, en sentit contrari a la llanda davantera) hauria de tenir els radis orientats al revés per suportar els esforços. A no ser que la raó de la orientació dels radis sigui per motius diferents als esforços aplicats, com per exemple per l'aerodinàmica o l'estètica.

Les forces que fa la llanda posterior (verd) i les reaccions que pateix (blau) es veuen a les següents il·lustracions (creant un sistema equilibrat pel cas de frenada i un altre pel d'acceleració):



Il·lustració 23: Diagrama de forces frenada (esquerra)

Il·lustració 24: Diagrama de forces acceleració (dreta)

- **Frenada (F_{Fre}) o acceleració (F_{Acc}).** Com no es poden produir les dues alhora, es pren el pitjor cas entre aquestes i es calculen la resta de forces.
- **Parell (P_{Fre} o P_{Acc}).** Que es produeix per la força dels frens per frenar o del motor per accelerar la motocicleta, en funció del cas escollit entre frenada i acceleració.
- **Pes (F_{Pes}).** S'assumeix el pitjor cas en que l'acceleració és màxima i la roda davantera perd contacte amb el terra de forma que la força per la massa de la motocicleta i el pilot recau completament sobre la llanda posterior.
- **Pressió pneumàtic (P_r).** Degut a l'aire a pressió que hi ha a l'interior i que fa que el pneumàtic mantingui la forma.

Hipòtesis:

- Només s'estudia la frenada i l'acceleració, s'exclouen els efectes derivats de les forces al prendre una corba.
- S'ignora la deformació del pneumàtic derivades del contacte amb el terra i de les forces a les que està sotmès.

3.2 Pitjor cas de càrrega

A continuació, es troba el pitjor cas de càrrega que té la llanda posterior de la motocicleta de l'estudi entre la frenada i l'acceleració per poder trobar posteriorment totes les càrregues que s'apliquen a l'anàlisi. Per fer-ho, es calculen les forces de frenada i acceleració i es comparen per saber el pitjor cas. Com es pot veure al subapartat 3.2.3, el pitjor cas de càrrega és en acceleració màxima en les condicions següents:

- La força màxima d'acceleració (2700 N) es produeix a potència màxima del motor (108 cv a 12500 RPM) i fa que s'aixequi la roda davantera, fent que tot el pes del conjunt (3000 N) recaigui completament sobre la roda posterior.
- La motocicleta circula a 27,75 m/s (107 km/h) en el pitjor cas de força d'acceleració màxima.
- El parell màxim (850 Nm a la roda i 61,52 Nm al motor) es produeix a potència màxima de la motocicleta.
- La pressió que els pneumàtics exerceixen sobre la llanda és de 0,32 MPa.

3.2.1 Frenada

Les **forces de frenada** a la roda posterior són molt inferiors que les de la roda anterior. Només cal comparar els sistemes de frenada que hi ha a la part anterior i posterior de la motocicleta.



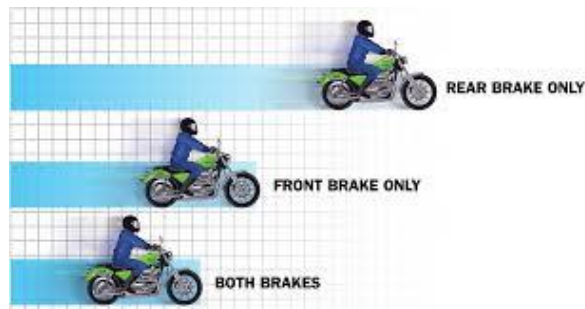
Il·lustració 25: Sistema de frenat tren anterior (esquerra)



Il·lustració 26: Sistema de frenat tren posterior (dreta)

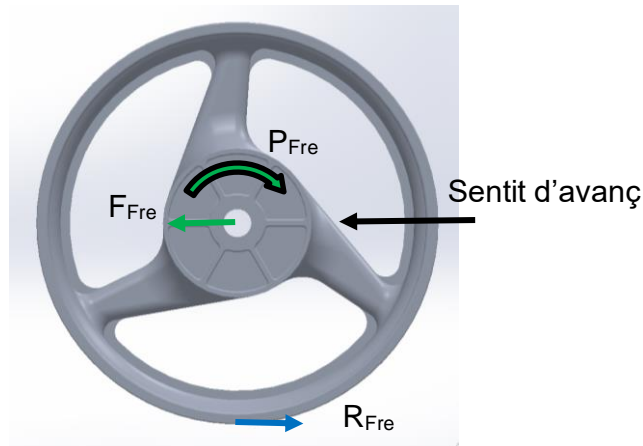
Anterior	Posterior
2 discs de 296mm	1 disc 220mm
2 pinces de 4 pistons	1 pinça de 2 pistons

Taula 3: Comparació sistemes de frenat de rodes davantera i trassera



Il·lustració 27: Diferència de frenada en funció del fre utilitzat

A la següent il·lustració es pot veure la força de frenada (F_{Fre}) i la reacció que fa el terra a la llanda (R_{Fre}), creant així un parell de forces que mantenen el sistema en equilibri.



Il·lustració 28: Diagrama de forces de frenada a la llanda

S'ha fet un test a la motocicleta que ocupa l'estudi per poder trobar la distància de frenada i, posteriorment, calcular la acceleració i la força màximes de frenada.

Dades:

- Massa total (motocicleta i pilot): aprox. 300 kg

3.2.1.1 Test comportament empíric

El test realitzat ha estat de **frenada únicament amb fre posterior**. Ha consistit en realitzar la frenada màxima des d'una velocitat de 13,88 m/s (50 km/h) amb el fre de darrere (per saber la distància mínima per aturar la motocicleta sense utilitzar el fre davanter (el més potent de la motocicleta). S'ha realitzat 10 vegades per poder obtenir un resultat el més fiable possible.

Intent	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Resultat (metres)	19,5	20,1	20,3	21,5	19,8	19,6	19,8	19,4	19,2	19,4

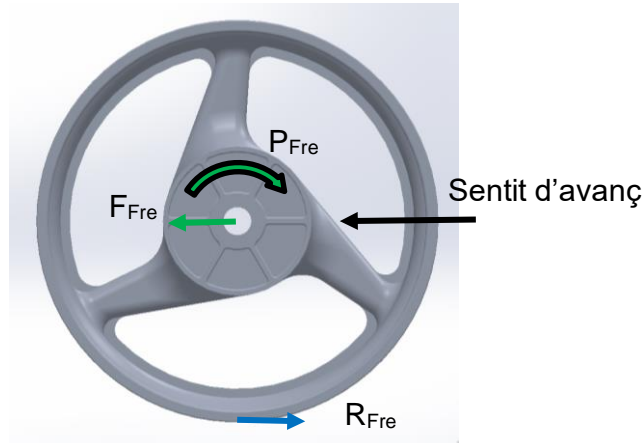
Taula 4: Resultats test frenada

El millor resultat obtingut ha estat de 19,2 metres.

3.2.1.2 Resultats frenada

La força de frenada ve del fregament del disc de fre amb les pastilles de fre, que genera un parell de frenada, i s'aplica a la unió del disc a la llanda. Aquest parell, s'aplica en forma de força a la llanda en el punt de tangència del pneumàtic amb el terra (parell de frenada per braç de palanca) i es genera una reacció del terra en sentit contrari per equilibrar el sistema. La força de frenada s'ha de moure al centre de la llanda (per estar aplicada al cdg) i es genera un parell per equilibrar el sistema.

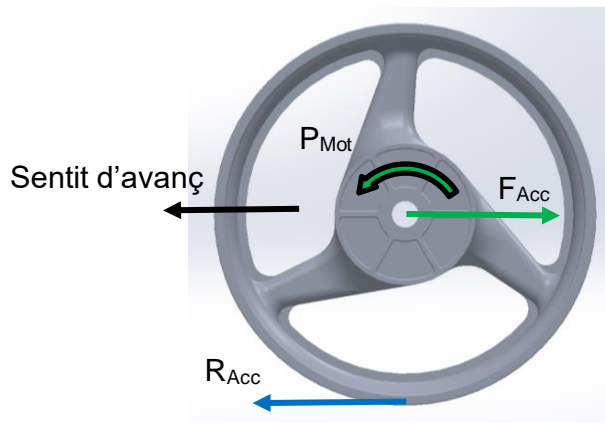
Tenint en compte els resultats del test de comportament empíric de la motocicleta, s'han realitzat els càlculs del sub-apartat 9.1.1., donant una acceleració de frenada de 5 m/s^2 i una força resultant de frenada de 1500 N.



Il·lustració 29: Diagrama de forces de frenada a la llanta

3.2.2 Acceleració

Les **forces d'acceleració** s'han calculat a partir de les dades de potència màxima de la motocicleta proporcionades pel fabricant i un valor obtingut experimentalment a través d'un test fet amb la motocicleta. A la següent il·lustració es pot veure la força d'acceleració (F_{Acc}) i el parell del motor (P_{Mot}), i la reacció que fa el terra a través del pneumàtic a la llanta (R_{Acc}) per crear així un sistema en equilibri.



Il·lustració 30: Diagrama de forces d'acceleració a la llanta

Dades:

- Massa total (motocicleta i pilot): aprox. 300 kg
- Potència motocicleta: 108 cv a 12500 RPM
- Diàmetre llanta: 17 polzades
- Dimensions pneumàtic: 180/55 R 17

3.2.2.1 Test relació transmissió

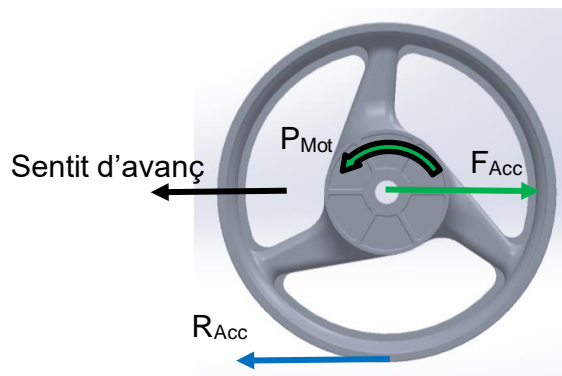
En aquest test es circula amb la motocicleta a una velocitat de 33,33 m/s (120 km/h) per trobar les RPM de la roda posterior (revolucions per minut) a unes RPM determinades del motor. S'ha de fer en 1a relació de transmissió perquè és la que té més parell a la roda.

Per trobar la distància de l'eix de la roda fins el punt de contacte entre el pneumàtic i el terra (s'utilitzarà per calcular les RPM de la roda), s'ha utilitzat el radi de la llanda, que sabem que és 17 polzades de diàmetre per la informació que ens proporciona el fabricant, sumat a l'altura del pneumàtic, que es pot trobar a través de les mesures del pneumàtic posterior (180 ens indica l'amplada del pneumàtic en mm, 55 és la relació percentual entre l'alçada i l'amplada del pneumàtic).

El valor trobat del motor és de 14000 RPM i, a través dels càlculs del sub-apartat 9.1.2., la roda posterior gira a 1010,5 RPM.

3.2.2.2 Resultats acceleració

La força d'acceleració ve del motor, transmesa per tots els elements de transmissió a la corona, que multiplicada pel radi de la corona dóna el parell a la llanda (850 Nm). Aquest parell es transmet de la llanda al terra a través del pneumàtic en forma de força (parell a la roda pel braç de palanca) i genera una reacció a la llanda per equilibrar el sistema. La força d'acceleració s'ha d'aplicar al centre de la llanda i sorgeix un parell per compensar el moviment d'aquesta força i equilibrar el sistema. Amb els valors obtinguts al test de relació de transmissió, podem calcular la força d'acceleració màxima a la velocitat (107 km/h o 27,75 m/s) en que la motocicleta té potència màxima utilitzant les dades de rendiment proporcionades pel fabricant (potència màxima de la motocicleta 108 CV a 12500 RPM). Per tant, amb els càlculs del sub-apartat 9.1.3., trobem que la força d'acceleració màxima és de 2700 N.



Il·lustració 31: Diagrama de forces d'acceleració a la llanda

3.2.3 Comparació de resultats

Els resultats obtinguts de frenada i acceleració són:

- Acceleració: 2700 N
- Frenada: 1500 N

Es pot comprovar que la força màxima d'acceleració és superior a la de frenada i, per tant, s'ha utilitzat la força d'acceleració de 2700 N i el cas d'acceleració màxima per fer l'estudi.

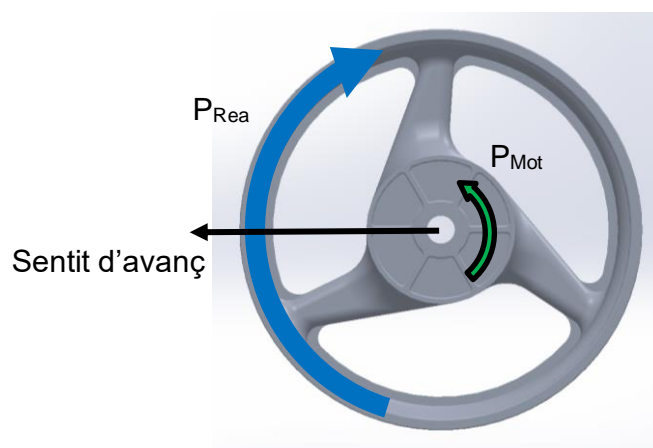
3.3 Forces aplicades a la llanda

Un cop calculat el pitjor cas de càrrega entre acceleració i frenada, es procedeix a calcular la resta de forces que intervenen en el cas d'acceleració, que són el parell torsor, el pes i la pressió als pneumàtics.

3.3.1 Parell torsor

El parell motor el fa el motor i es transmet a la llanda per la corona (aquesta té aplicada la força que multiplicada pel radi genera el parell a la roda de 850 Nm). El parell de la llanda es compensa pel parell que genera la força que fa el pneumàtic tangent exteriorment a la llanda, que equilibra el sistema.

A la següent il·lustració es pot veure el parell torsor produït pel motor de la motocicleta a la llanda en color verd (P_{Mot}) i el parell de reacció que fa el terra en blau (P_{Rea}), creant així un sistema en equilibri.



Il·lustració 32: Diagrama de parells torsors a la llanda

Aquest es calcula mitjançant la relació de transmissió del motor a la roda (calculada al sub-apartat 9.1.3)

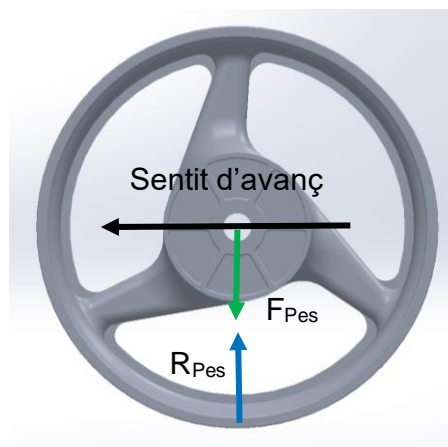
Dades:

- Parell motor en potència màxima (sub-apartat 9.1.3): 61,52 Nm
- Relació de transmissió (sub-apartat 9.1.3): 0,072

En els càlculs del sub-apartat 9.1.3. ja s'havia calculat (amb un asterisc *), donant un resultat de 850 Nm.

3.3.2 Pes

El pes que suporta la llanda posterior és el pes al complet de la motocicleta i el pilot (amb l'equipament de seguretat posat com seria el casc, mono, botes, etc.). S'assumeix que en el pitjor cas calculat (acceleració màxima) serà el moment en que el pes que suporta la roda davantera és 0 i, per tant, aquest pes recaurà totalment en la roda posterior i farà que el pneumàtic tingui màxima adherència. A la següent il·lustració es pot veure la força del pes (F_{Pes}) i la reacció que fa el terra a la llanda (R_{Pes}), creant així un parell de forces que mantenen el sistema en equilibri.



Il·lustració 33: Diagrama del pes a la llanda

La motocicleta té un pes en buit de 170 kg que, un cop omplert el dipòsit de gasolina i afegint tots els líquids pertinents, queden en 200 kg. El pilot té una massa de 92 kg que, sumats a tot l'equipament necessari (casc, mono, guants, botes, etc.), queden en 100kg. Per tant, la massa total és de 300 kg.

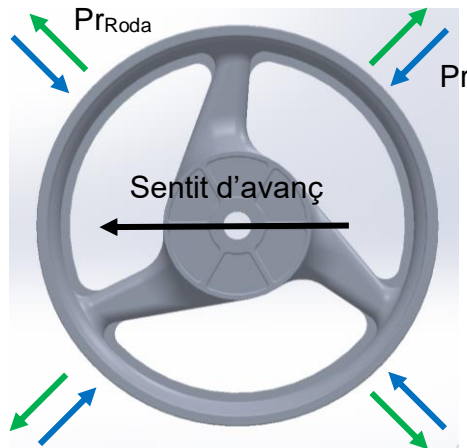
Dades:

- Acceleració gravetat: $9,8 \text{ m/s}^2$
- Massa total (motocicleta i pilot): aprox. 300 kg

Utilitzant aquestes dades en els càlculs del sub-apartat 9.1.4., s'obté un resultat de 3000 N.

3.3.3 Pressió dels pneumàtics

La **pressió** dels pneumàtics s'ha comprovat experimentalment, amb el pilot a sobre i en les condicions que exigeix el fabricant. I el valor obtingut és de 3,2 bar o 0,32 MPa.

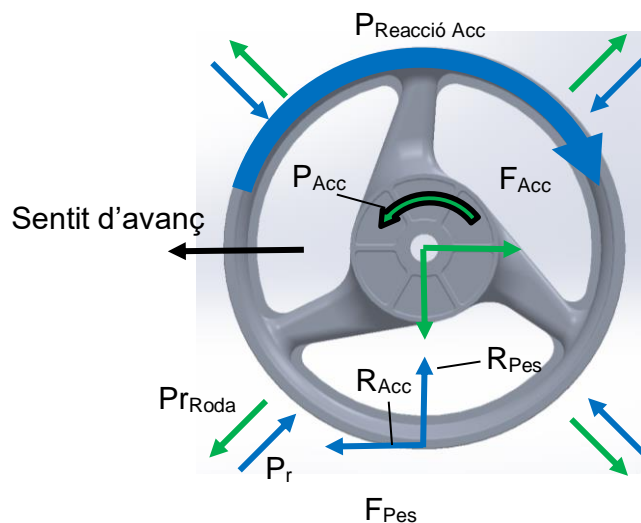


Il·lustració 34: Diagrama de pressions a la llanta

3.4 Resultats

Un cop calculades totes les forces, els resultats obtinguts són els següents:

- Força acceleració (F_{Acc}): 2700 N
- Pes total (F_{Pes}): 3000 N
- Parell torsor (Parell): 850 Nm
- Pressió pneumàtic (P_r): 0,32 MPa



Il·lustració 35: Diagrama de forces a la llanta

4 Descripció de l'anàlisi

En aquest capítol es parla dels anàlisis efectuats en aquest estudi a les llandes original i proposades.

Hipòtesis:

- Degut a la falta de coneixements i de temps per aprendre a utilitzar el programa Ansys (amb un mòdul de simulacions molt complet i exacte), s'ha utilitzat el programa Solidworks 2019 per realitzar l'estudi, ja que durant el grau s'ha treballat amb aquest programa majoritàriament i l'ha proporcionat la universitat.

4.1 Descripció del model CAD

En aquest apartat es descriuran els models CAD de cada una de les llandes estudiades.

Hipòtesis:

- Davant la impossibilitat de confirmar el tipus d'alumini emprat en la llanda, per fer aquest estudi se suposa que és un aliatge 6061-T6 (SS).
- La llanda modelada és una aproximació feta per l'alumne ja que no existeixen plànols ni mesures d'aquesta i s'ha hagut d'utilitzar material fotogràfic, informació de la fitxa tècnica de la motocicleta proporcionada pel fabricant i mesures fetes a mà a la llanda física.
- Donat que no hi ha informació contrastada amb valors concrets de característiques mecàniques per l'aliatge de magnesi com a material de llanda, es considera que les característiques mecàniques del magnesi són iguals que les de l'alumini 6061-T6 (SS). La única excepció és la densitat que, en comptes de ser de 2700 kg/m^3 com a l'alumini esmentat, és de 2295 kg/m^3 , ja que experts especialitzats afirmen que una llanda d'aliatge de magnesi pot ser entre un 10 i un 20% més lleugera que una d'alumini mantenint les característiques mecàniques. En aquest cas, es pren el valor mig, 15%.
- S'ignora les dimensions del rodament que es col·loca dins la llanda. En comptes d'això, es considera que la llanda és massissa on hauria d'estar aquest rodament.

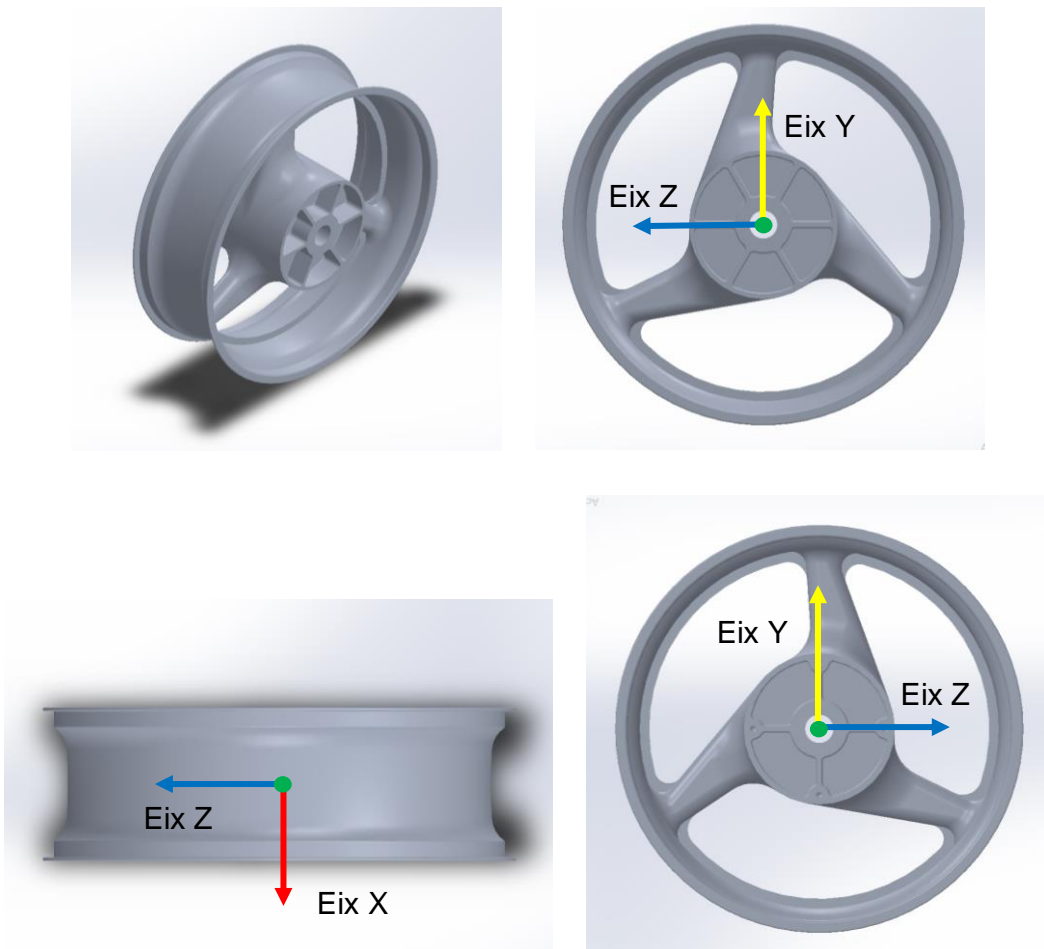
- L'allotjament de l'eix de la llanda original no es modela amb cap buidat per disminuir la massa, ja que no s'ha trobat cap mena d'informació al respecte.

4.1.1 Descripció del model CAD per la llanda original

La llanda original s'ha modelat seguint la informació que proporciona el fabricant, material fotogràfic i mesures preses a mà a la llanda física. Per tant, aquesta és una aproximació i algunes mesures poden no coincidir amb la realitat.

El model CAD de totes les llandes de l'estudi s'ha realitzat utilitzant un software CAD 3D, Solidworks 2019, proporcionat per l'Escola Superior d'Enginyeria Industrial, Aeronàutica i Audiovisual de la Universitat Politècnica de Catalunya.

A les il·lustracions següents es situa l'origen de coordenades i el centre de gravetat (punt verd de les il·lustracions). Ambdós coincideixen i estan situats al punt mig de l'eix central de la llanda, ja que és un cos circular i format per 3 part idèntiques que es repeteixen cada 120° , i és igual a totes les llandes proposades.



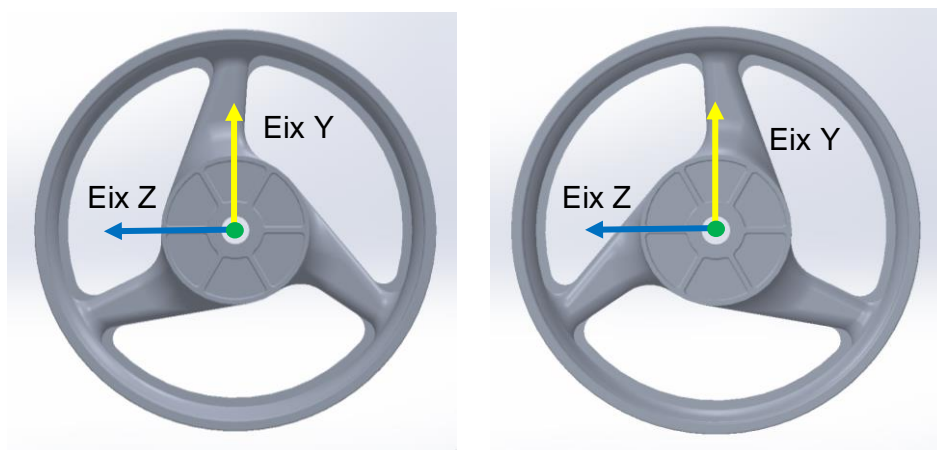
Il·lustració 36: Vistes model CAD llanda inicial amb cdg i eixos de coordenades

Massa	8,925 kg
Inèrcia respecte l'eix X de la roda	1,119 kg*m ²
Material	Alumini 6061-T6 (SS)
Densitat	2700 kg/m ³
Límit elàstic	275 MPa

Taula 5: Especificacions llanda original

4.1.2 Descripció del model CAD per la llanda proposada 1

Aquesta és la primera llanda proposada com a millora, la que motiva aquest estudi, i únicament es canvia la orientació dels radis respecte la llanda original (invertint la direcció). A continuació es veu la diferència entre els radis de la llanda original i la llanda proposada 1.



Il·lustració 37: Model CAD llanda original (esquerra)

Il·lustració 38: Model CAD llanda proposada 1 (dreta)

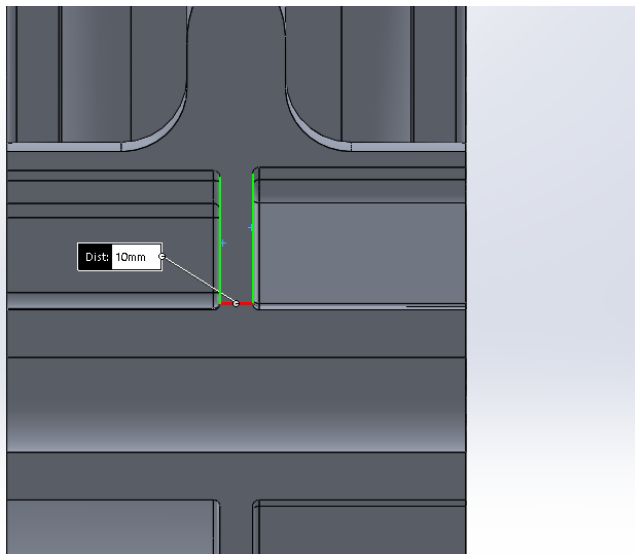
Massa	8,925 kg
Inèrcia respecte l'eix X de la roda	1,119 kg*m ²
Material	Alumini 6061-T6 (SS)
Densitat	2700 kg/m ³
Límit elàstic	275 MPa

Taula 6: Especificacions llanda proposada 1

4.1.3 Descripció del model CAD per la llanda proposada 2

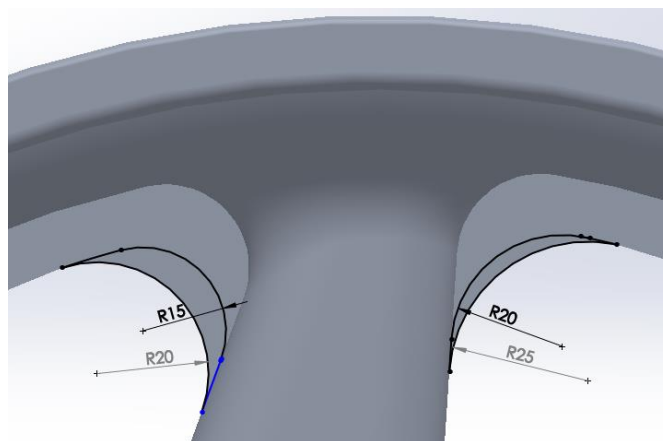
Els canvis en aquesta proposta de llanda han estat motivats pels resultats dels anàlisis de la llanda original (que es troben al sub-apartat 4.4.1), ja que es basa en aquesta, i han estat únicament de geometria.

El centre de la llanda s'ha buidat seguint les formes de les ranures de la corona, per una banda, i del disc de fre, per l'altra, deixant una paret de 10 mm, ja que aquesta zona té unes tensions molt baixes. Per tant, es pot treure material per reduir massa i no afectar pràcticament a l'augment de les tensions a la resta de la llanda.



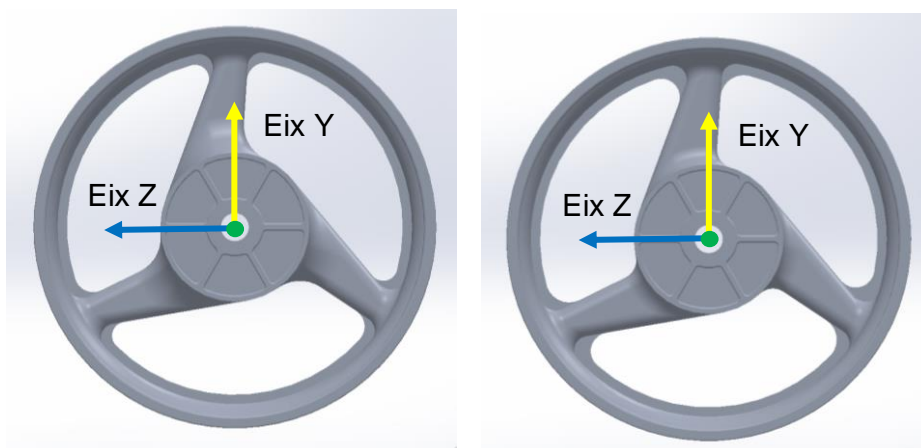
Il·lustració 39: Model CAD llanda original (esquerra)

S'han reforçat els punts de tensió màxima per reduir-les, afegint material per augmentar el reforç entre els radis i el cercol (canviant els radis de 15 a 20 mm, en la part amb angle més petit, i de 20 a 25 mm, en la part amb angle més gran), com es pot veure a la il·lustració següent.



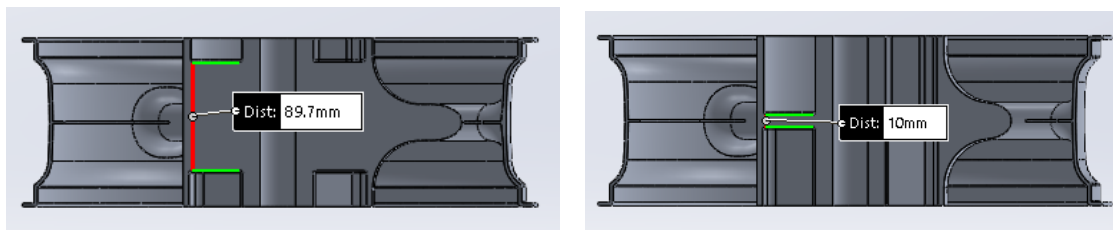
Il·lustració 40: Model CAD llanda original (esquerra)

A continuació es veuen les diferències entre la llanda original i la llanda proposada 2.



Il·lustració 41: Model CAD llanda original (esquerra)

Il·lustració 42: Model CAD llanda proposada 2 (dreta)



Il·lustració 43: Vista secció transversal model CAD llanda original (esquerra)

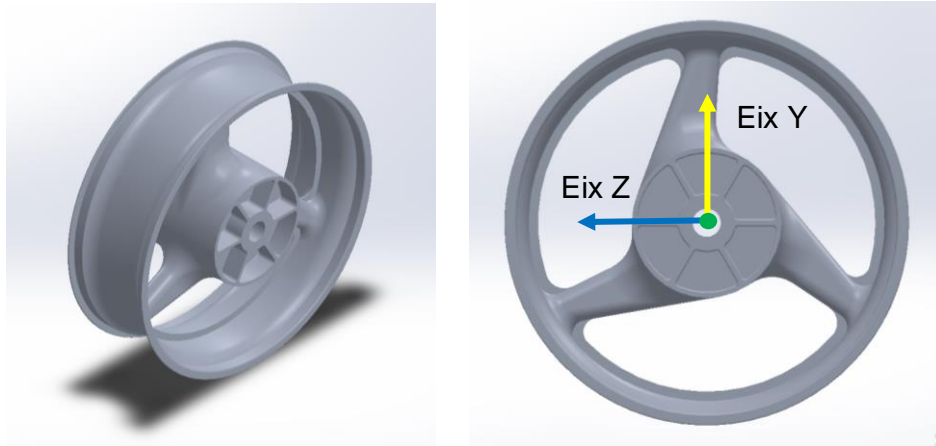
Il·lustració 44: Vista secció transversal model CAD llanda proposada 2 (dreta)

Massa	6,127 kg
Inèrcia respecte l'eix X de la roda	1,030 kg*m ²
Material	Alumini 6061-T6 (SS)
Densitat	2700 kg/m ³
Límit elàstic	275 MPa

Taula 7: Especificacions llanda proposada 2

4.1.4 Descripció del model CAD per la llanda proposada 3

Aquesta proposta de llanda 3, es basa en el canvi de material d'alumini 6061-T6 (SS) a aliatge de magnesi de la llanda original. Per tant, com ja s'ha dit a les hipòtesis, l'aliatge de magnesi té les mateixes característiques mecàniques que l'alumini 6061-T6 (SS), excepte la densitat que serà de 2295 kg/m^3 . Únicament varien la massa i la inèrcia d'aquesta proposta degut al canvi de densitat.



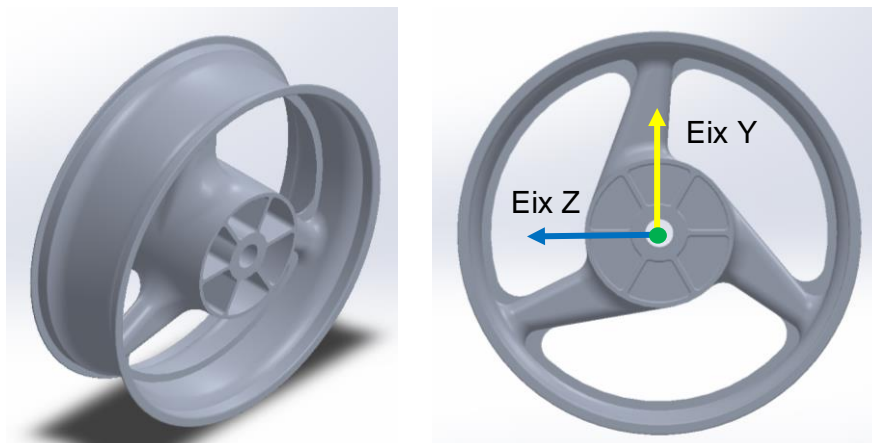
Il·lustració 45: Vistes model CAD llanda proposada 3

Massa	7,586 kg
Inèrcia respecte l'eix X de la roda	$0,951 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
Material	Aliatge de magnesi
Densitat	2295 kg/m^3
Límit elàstic	275 MPa

Taula 8: Especificacions llanda proposada 3

4.1.5 Descripció del model CAD per la llanda proposada 4

Aquesta proposta de llanda, es basa en el canvi de material d'alumini 6061-T6 (SS) a aliatge de magnesi de la llanda de la proposta 2. Per tant, com ja s'ha dit a les hipòtesis, l'aliatge de magnesi té les mateixes característiques mecàniques que l'alumini 6061-T6 (SS), excepte la densitat que serà de 2295 kg/m^3 . Únicament varien la massa i la inèrcia d'aquesta proposta degut al canvi de densitat.



Il·lustració 46: Vistes model CAD llanda proposada 4

Massa	5,208 kg
Inèrcia respecte l'eix X de la roda	$0,876 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
Material	Aliatge de magnesi
Densitat	2295 kg/m^3
Límit elàstic	275 MPa

Taula 9: Especificacions llanda proposada 4

4.2 Descripció del model FEM

Un cop fets els models CAD, s'ha procedit a mallar els 4 models de llandes comentats amb anterioritat utilitzant el software de modelat en 3D i anàlisi FEM Solidworks 2019 per mitjà d'una malla automàtica d'elements sòlids usant elements quadràtics d'alt ordre. S'ha fet una malla fina amb densitat de 0,1 elements/mm³ a les llandes original, i proposades 1 i 3, i densitat de 0,126 elements/mm³ a les llandes proposades 2 i 4.

El resultat dels mallats es pot veure a la següent taula:

Llanda	Original i Proposta 3	Proposta 1	Proposta 2 i 4
Nº de nodes	526028 nodes	526493 nodes	478290 nodes
Nº d'elements	329493 elements	329625 elements	285751 elements
Tipus elements per mallar	Quadràtics d'alt ordre	Quadràtics d'alt ordre	Quadràtics d'alt ordre
Mallat manual o automàtic	Automàtic	Automàtic	Automàtic
Elements sòlids	Si	Si	Si
Densitat malla*	0,1 elements/mm ³	0,1 elements/mm ³	0,126 elements/mm ³

*Calculats al sub-apartat 9.1.5.

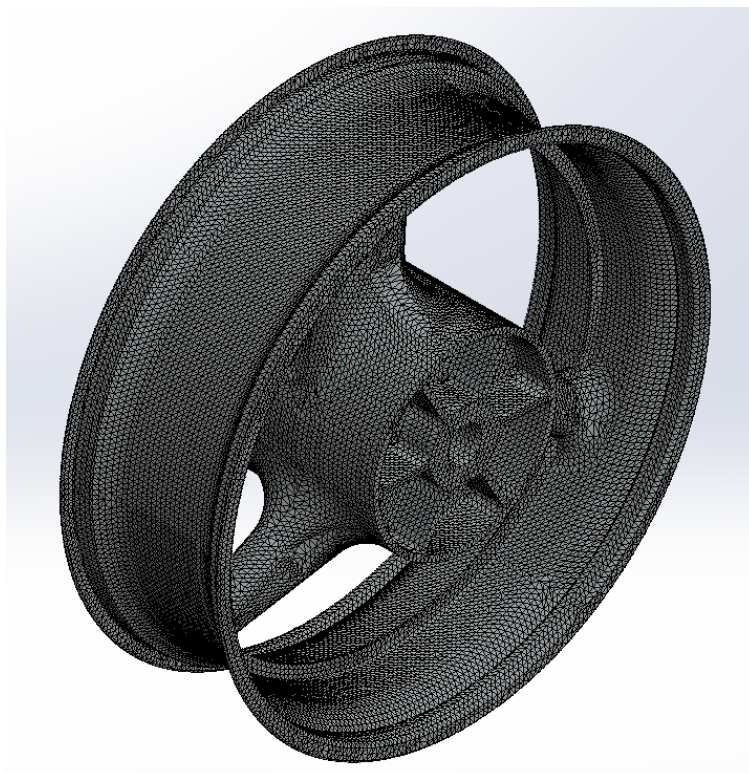
Taula 10: Resultats mallats dels models FEM

Hipòtesis:

- El model FEM de la llanda proposada 3 és el mateix que la llanda original, ja que només canvia el material. Igualment per la llanda proposada 4 que és igual a la 2.

4.2.1 Imatges malles

4.2.1.1 Imatges model mallat de les llandes original i proposada 3

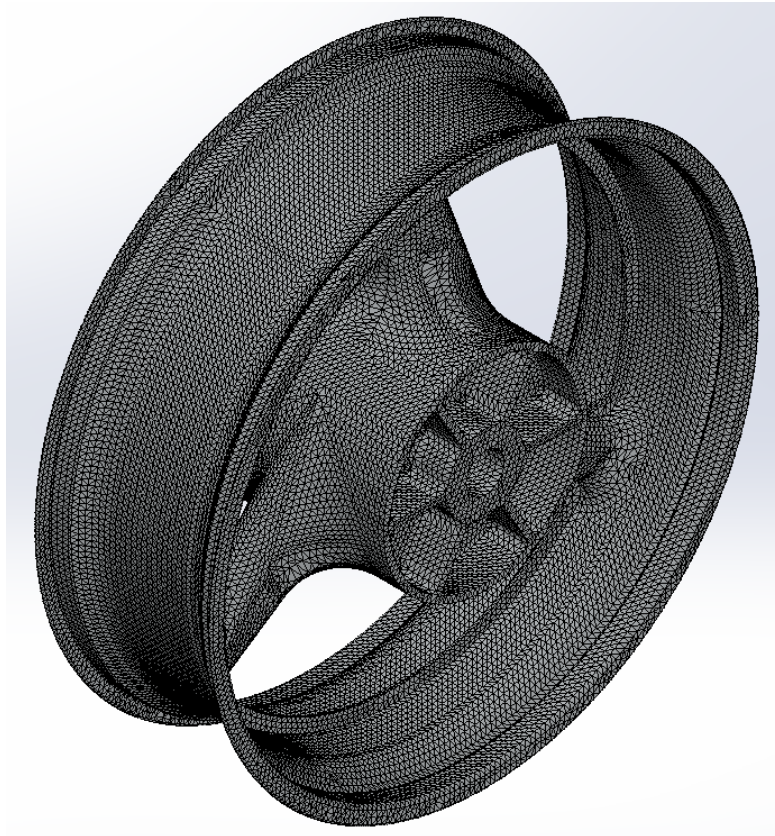


Il·lustració 47: Model mallat llandes original i proposada 3 (vista isomètrica)



Il·lustració 48: Model mallat llandes original i proposada 3 (vista frontal)

4.2.1.2 Imatges model mallat de la llanda proposada 1



Il·lustració 49: Model mallat llanda proposada 1 (vista isomètrica)



Il·lustració 50: Model mallat llanda proposada 1 (vista frontal)

4.2.1.3 Imatges model mallat de les llandes proposades 2 i 4



Il·lustració 51: Model mallat llandes proposades 2 i 4 (vista isomètrica)



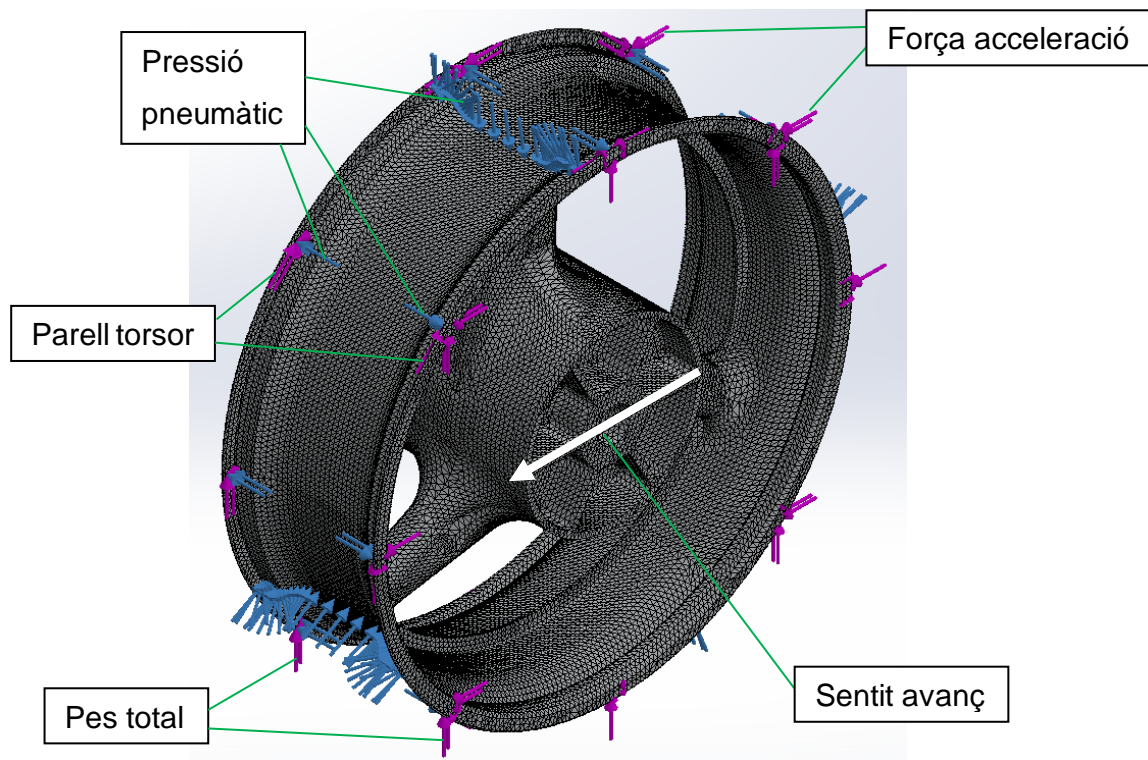
Il·lustració 52: Model mallat llandes proposades 2 i 4 (vista frontal)

4.3 Descripció de les càrregues i restriccions

Les càrregues i restriccions que es descriuen en aquest capítol apliquen als models FEM de totes les llandes, ja que ni les forces ni les superfícies d'aplicació d'aquestes varien d'una llanda a l'altra.

4.3.1 Càrregues

Les **càrregues** a aplicar són les que s'han calculat prèviament al capítol 3 de l'estudi, que són:

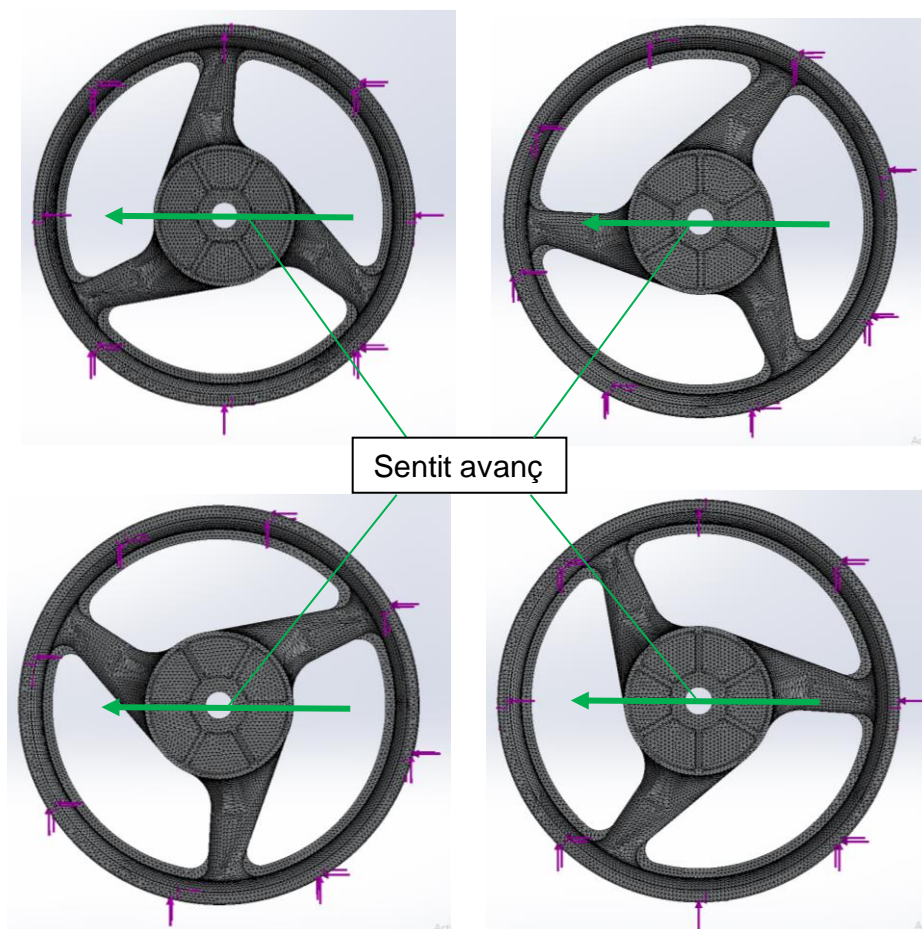


Il·lustració 53: Model FEM mallat llanda original amb càrregues

- Força acceleració: té un valor de 2700 N i la direcció positiva de l'eix Z. La superfície on s'aplica aquesta força a la llanda és la de contacte entre la llanda i el pneumàtic.
- Parell torsor: té un valor de 850 Nm i la rotació de la direcció positiva de l'eix X (seguint la regla de la mà dreta). La superfície on s'aplica aquesta força a la llanda és la de contacte entre la llanda i el pneumàtic.
- Pes total: té un valor de 3000 N i la direcció positiva de l'eix Y. La superfície on s'aplica aquesta força a la llanda és la de contacte entre la llanda i el pneumàtic.

- Pressió del pneumàtic: té un valor de 0,32 MPa i s'aplica a tota l'àrea de la llanda que queda dins i en contacte amb el pneumàtic, en direcció a la llanda perpendicular a les superfícies on actua.

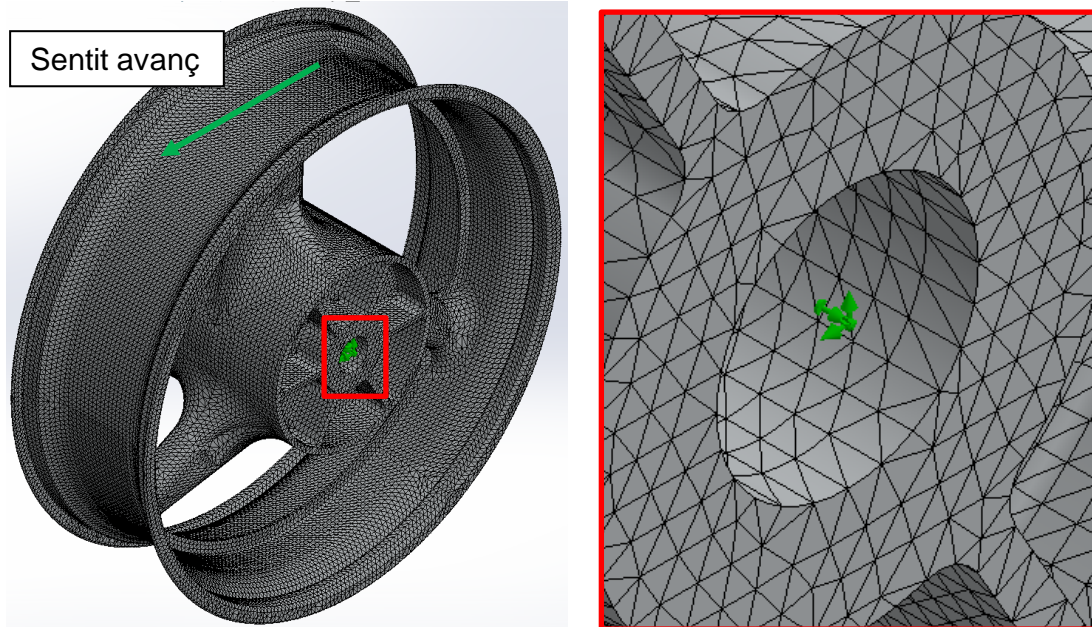
Les simulacions s'han efectuat en diversos angles d'incidència per trobar així el pitjor cas possible. S'han fet cada 30° de 0° fins a 90° (ambdós inclosos), ja que la llanda té únicament 3 radis i a partir dels 90°, els resultats es repeteixen degut a que la llanda és igual cada 120°. Únicament s'han modificat els valors del pes total (vertical) i la força d'acceleració (horitzontal), ja que els altres no es veuen afectats pel canvi en l'angle d'incidència.



Il·lustració 54: Angles simulació model FEM mallat llanda original amb càrregues

4.3.2 Restriccions

Les **restriccions** que s'han aplicat al model FEM de totes les llandes són les que es poden veure a la il·lustració següent:

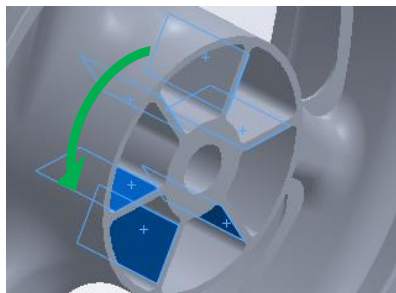


Il·lustració 55: Model FEM mallat llanda original i detall amb restriccions

S'ha fixat l'eix que creua la roda pel centre impedit translació i rotació.

Hipòtesis:

- Les restriccions correctes haurien d'ésser de translació en l'eix central de la llanda i el parell del motor estaria equilibrat amb un parell torsor d'igual magnitud en sentit contrari (fletxa verda a la il·lustració 53) a les parets de la ranura on va la corona (de color blau com es pot veure a la il·lustració 53) per equilibrar el sistema de parells de torsió. Lamentablement, la simulació no podia ser resolta pel programa i s'ha hagut d'optar per fixar l'eix central que creua la roda (restringint tant translació com rotació).



Il·lustració 56: Detall ranura corona model CAD llanda original

4.4 Resultats dels anàlisis

En aquest apartat es troben tots els resultats dels anàlisis efectuats a les llandes.

El procés seguit ha estat:

- Modelat en CAD de la llanda original
- Anàlisi FEM de la llanda original
- Redisseny de la llanda original (invertint la direcció dels radis) per arribar a la llanda proposada 1
- Anàlisi FEM de la llanda proposada 1
- Comparació de resultats entre les llandes original i proposada 1
- A partir dels resultats anteriors, s'ha redissenyat la llanda original per millorar els punts febles pel que fa a geometria (s'han reforçat els punts amb tensions màximes i s'ha reduït pes allà on les tensions ho permetien).
- Anàlisi FEM de la llanda proposada 2
- Canvi de material de les llandes original i proposada 2 (d'aliatge d'alumini a aliatge de magnesi), sorgint la llanda proposada 3 a partir de la original i la llanda proposada 4 a partir de la proposada 2.
- Anàlisi FEM de les llandes proposades 3 i 4
- Comparació dels resultats de totes les llandes

Hipòtesis:

- Estudi estàtic, no dinàmic.
- S'estudia un únic cicle de treball, excloent així la resistència a fatiga.
- S'exclou l'efecte de l'aerodinàmica en aquest estudi.

4.4.1 Llanda original

Les dades d'aquesta llanda són:

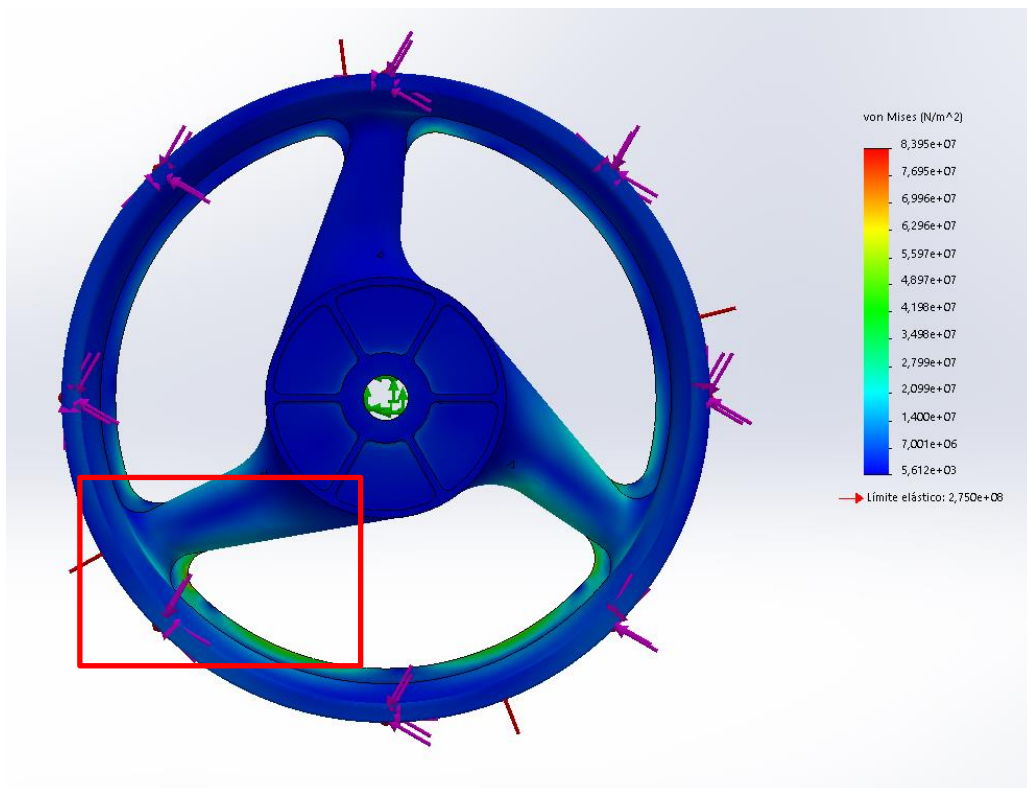
Massa	8,925 kg
Inèrcia respecte l'eix X de la roda	1,119 kg*m ²
Material	Alumini 6061-T6 (SS)
Densitat	2700 kg/m ³
Límit elàstic	275 MPa

Taula 11: Especificacions llanda original

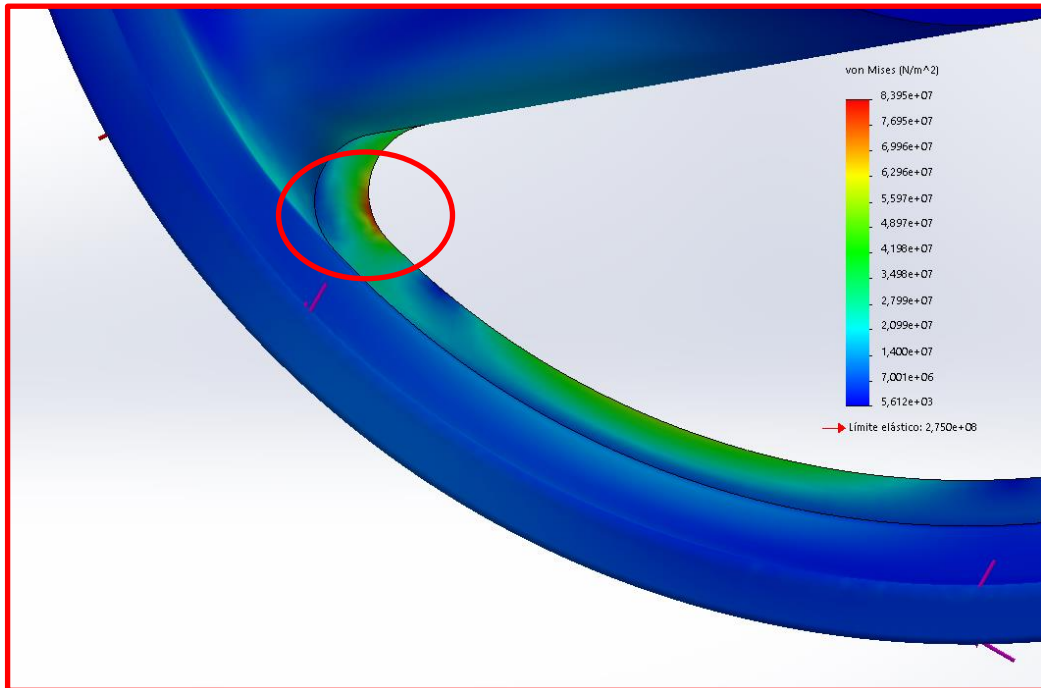
Comparant els 4 anàlisis fets en aquesta llanda variant la inclinació de les forces, es veu que el pitjor cas és a 60°.

Anàlisi 0°	74,11 MPa
Anàlisi 30°	71,46 MPa
Anàlisi 60°	83,95 MPa
Anàlisi 90°	74,11 MPa

Taula 12: Resultats anàlisis en tots els angles llanda original



Il·lustració 57: Resultats anàlisi pitjor cas (60°) llanda original



Il·lustració 58: Detall resultats anàlisi pitjor cas (60°) llanda original

Com es pot veure a les imatges superiors, el punt de tensió màxima de la llanda original en el pitjor cas d'anàlisi (a 60°) és al reforç entre el cercol i el radi esquerra de la llanda, a l'angle petit. Això és degut a la deformació que es produeix al nervi intern del cercol entre els radis dret i esquerra per les forces aplicades a la llanda, que fa que el reforç augmenti d'angle i es produeixi un esforç de tracció a la part interna.

L'anàlisi d'aquesta llanda ens dona els següents resultats:

Tensió màxima (von Mises)	83,95 MPa
Deformació unitària màxima (ESTRN)	$9,65 \cdot 10^{-4}$
Factor de seguretat	3,27

Taula 13: Resultats anàlisis llanda original

4.4.2 Llanda proposada 1

Les dades d'aquesta llanda són:

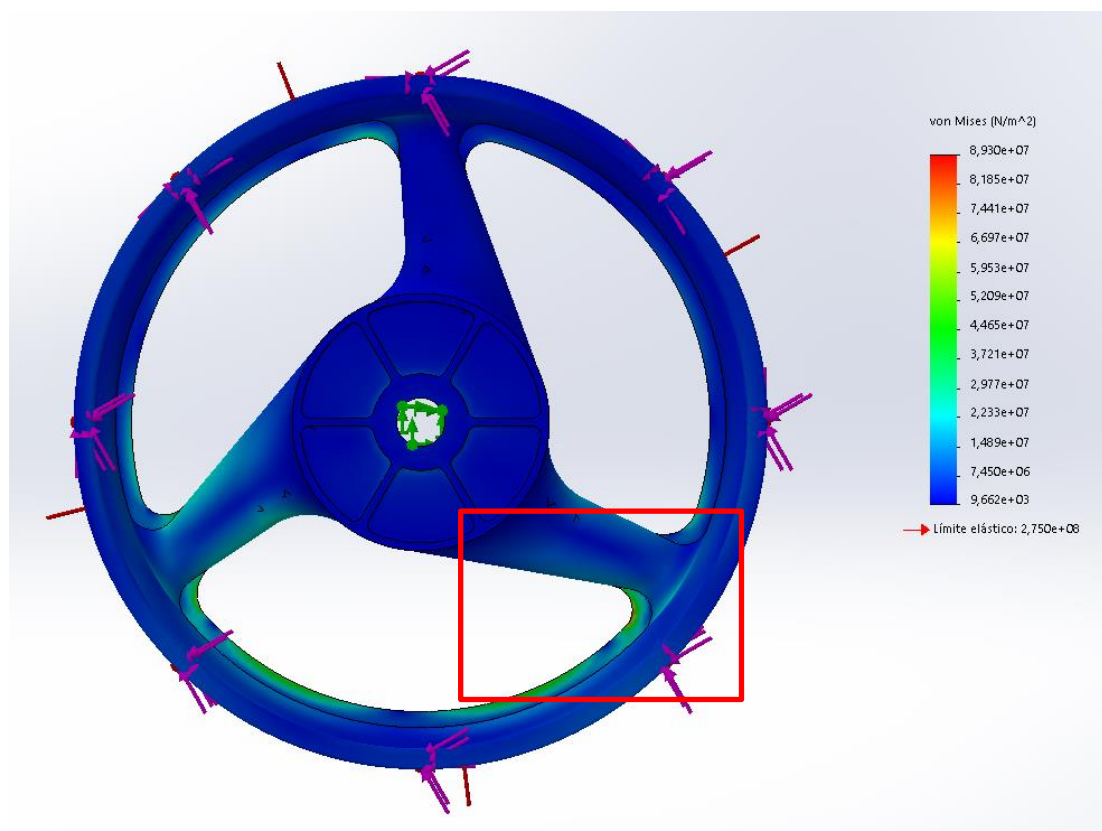
Massa	8,925 kg
Inèrcia respecte l'eix X de la roda	1,119 kg·m ²
Material	Alumini 6061-T6 (SS)
Densitat	2700 kg/m ³
Límit elàstic	275 MPa

Taula 14: Especificacions llanda proposada 1

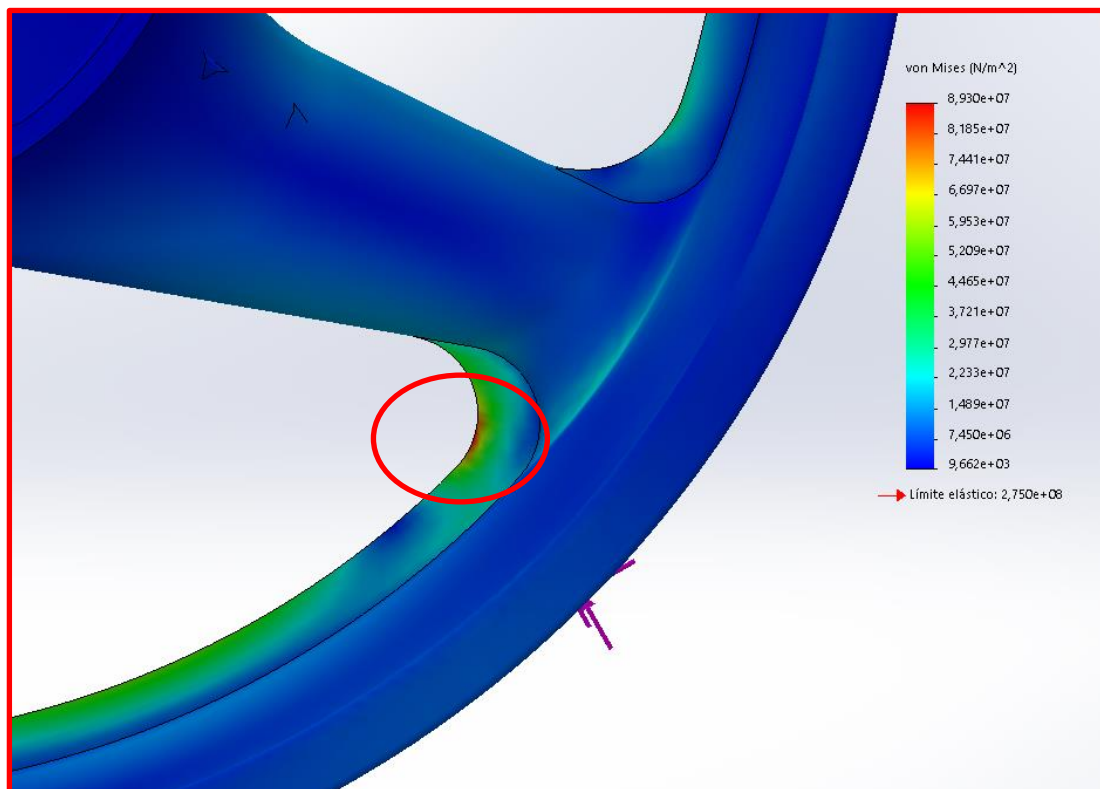
Comparant els 4 anàlisis fets en aquesta llanda variant la inclinació de les forces, es veu que el pitjor cas és a 30°.

Anàlisi 0°	88,39 MPa
Anàlisi 30°	89,30 MPa
Anàlisi 60°	73,86 MPa
Anàlisi 90°	72,49 MPa

Taula 15: Resultats anàlisis en tots els angles llanda proposada 1



Il·lustració 59: Resultats anàlisi pitjor cas (30°) llanda proposada 1



Il·lustració 60: Detall resultats anàlisi pitjor cas (30°) llanda proposada 1

En aquest cas, el punt de tensió màxima de la llanda proposada 1 en el pitjor cas d'anàlisi (a 30°) és al reforç entre el cercol i el radi dret de la llanda, a l'angle petit. Això és degut a la deformació que es produeix al cercol entre els radis dret i esquerra per les forces aplicades a la llanda, que fa que el reforç disminueixi d'angle i es produeixi un esforç de compressió a la part interna.

L'anàlisi d'aquesta llanda dona els següents resultats:

Tensió màxima (Von Mises)	89,30 MPa
Deformació unitària màxima (ESTRN)	$9,53 \cdot 10^{-4}$
Factor de seguretat	3,08

Taula 16: Resultats anàlisi llanda proposada 1

4.4.3 Llanda proposada 2

Les dades d'aquesta llanda són:

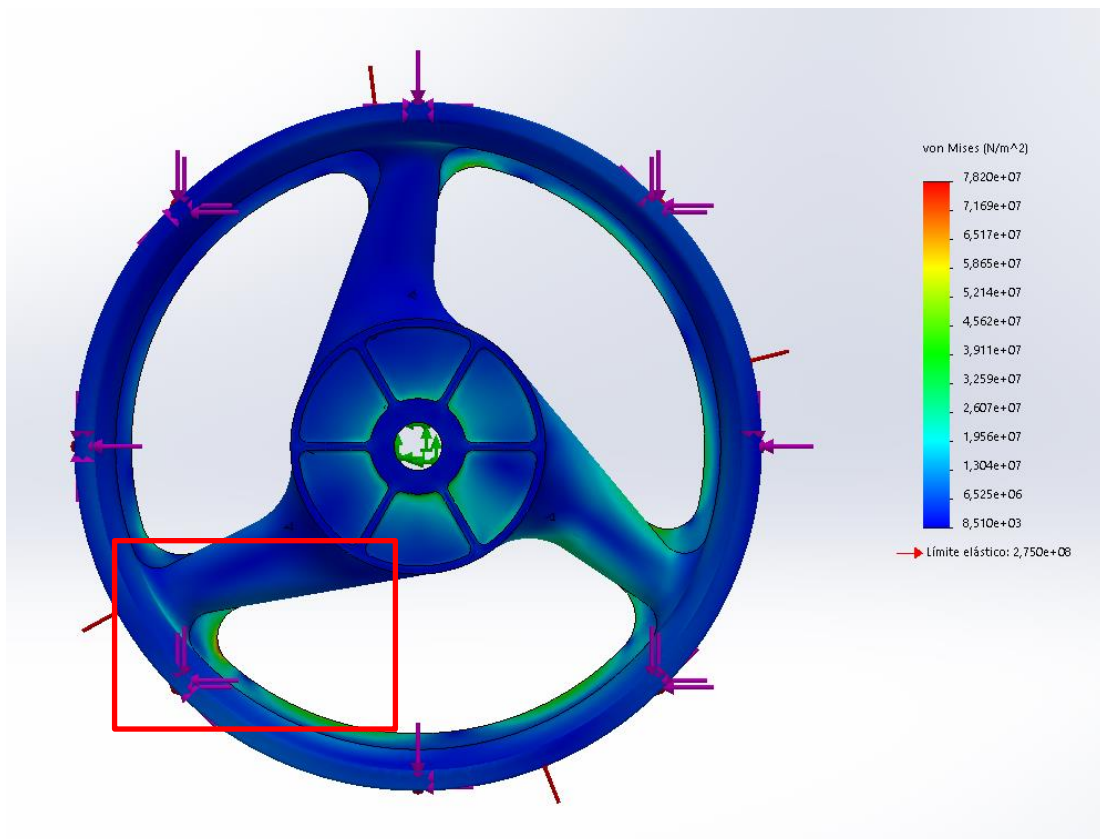
Massa	6,127 kg
Inèrcia respecte l'eix X de la roda	1,030 kg*m ²
Material	Alumini 6061-T6 (SS)
Densitat	2700 kg/m ³
Límit elàstic	275 MPa

Taula 17: Especificacions llanda proposada 2

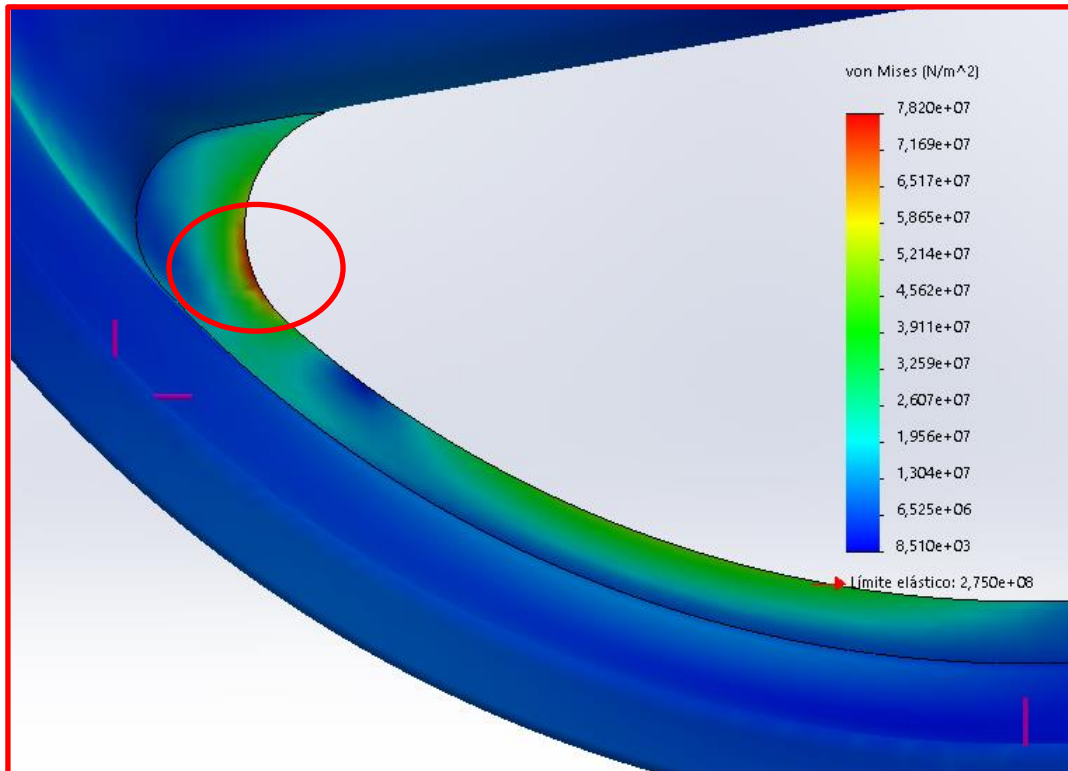
Comparant els 4 anàlisis fets en aquesta llanda variant la inclinació de les forces, es veu que el pitjor cas és a 90°.

Anàlisi 0°	70,25 MPa
Anàlisi 30°	62,21 MPa
Anàlisi 60°	73,25 MPa
Anàlisi 90°	78,20 MPa

Taula 18: Resultats anàlisis en tots els angles llanda proposada 2



Il·lustració 61: Resultats anàlisi pitjor cas (90°) llanda proposada 2



Il·lustració 62: Detall Resultats anàlisi pitjor cas (90°) llanda proposada 2

les imatges de la simulació, el punt de tensió màxima de la llanda proposada 2 en el pitjor cas d'anàlisi (a 90°) és al reforç entre el cercol i el radi esquerra de la llanda, a l'angle petit. Això és degut a la deformació que es produeix al cercol entre els radis dret i esquerra per les forces aplicades a la llanda, que fa que el reforç augmenti d'angle i es produeixi un esforç a tracció a la part interna.

L'anàlisi d'aquesta llanda ens dona els següents resultats:

Tensió màxima (Von Mises)	78,20 MPa
Deformació unitària màxima (ESTRN)	$9,22 \cdot 10^{-4}$
Factor de seguretat	3,51

Taula 19: Resultats anàlisis llanda proposada 3

4.4.4 Llanda proposada 3

Les dades d'aquesta llanda són:

Massa	7,586 kg
Inèrcia respecte l'eix X de la roda	0,951 kg*m ²
Material	Aliatge de magnesi
Densitat	2295 kg/m ³
Límit elàstic	275 MPa

Taula 20: Especificacions llanda proposada 3

Aquesta proposta de llanda 3, es basa en el canvi de material d'alumini 6061-T6 (SS) a aliatge de magnesi de la llanda original. Per tant, com ja s'ha dit a les hipòtesis, l'aliatge de magnesi té les mateixes característiques mecàniques que l'alumini 6061-T6 (SS), excepte la densitat que serà de 2295 kg/m³, i, com les característiques mecàniques són iguals que les de la llanda original i la geometria de la llanda no ha canviat respecte aquesta, els valors de tensions obtinguts a les simulacions de la llanda original (essent el pitjor cas a 60°) són vàlids per aquesta proposta. Únicament varien la massa i la inèrcia d'aquesta proposta degut al canvi de densitat.

Tensió màxima (Von Mises)	83,95 MPa
Deformació unitària màxima (ESTRN)	9,65*10 ⁻⁴
Factor de seguretat	3,27

Taula 21: Resultats anàlisis llanda proposada 3

4.4.5 Llanda proposada 4

Les dades d'aquesta llanda són:

Massa	5,208 kg
Inèrcia respecte l'eix X de la roda	0,876 kg*m ²
Material	Aliatge de magnesi
Densitat	2295 kg/m ³
Límit elàstic	275 MPa

Taula 22: Especificacions llanda proposada 4

Aquesta proposta de llanda 4, es basa en el canvi de material d'alumini 6061-T6 (SS) a aliatge de magnesi de la llanda de la proposta 2. Per tant, com ja s'ha dit a les hipòtesis, l'aliatge de magnesi té les mateixes característiques mecàniques que l'alumini 6061-T6 (SS), excepte la densitat que serà de 2295 kg/m³, i, com les característiques mecàniques són iguals que les de la proposta 2 de llanda i la geometria de la llanda no ha canviat respecte aquesta, els valors de tensions obtinguts a les simulacions de la llanda proposada 2 (essent el pitjor cas a 90°) són vàlids per aquesta proposta. Únicament varien la massa i la inèrcia d'aquesta proposta degut al canvi de densitat.

Tensió màxima (Von Mises)	78,20 MPa
Deformació unitària màxima (ESTRN)	9,22*10 ⁻⁴
Factor de seguretat	3,51

Taula 23: Resultats anàlisis llanda proposada 4

4.5 Resum de l'anàlisi

Com es pot observar a la taula de més a baix:

- La pitjor proposta és la número 1, en contra de la creença que impulsa aquest estudi, amb un empitjorament de la tensió màxima d'un 6,37% i el Factor de Seguretat un 5,83%. Això significa que la orientació dels radis té una incidència negativa en les tensions i les deformacions de la llanda proposada 1, per la qual cosa és preferible escollir la orientació original dels radis.
- Com es pot observar a la taula de resultats, la proposta 2 presenta millores respecte a la llanda original. Es redueix la massa en un 31,35%, la inèrcia en un 7,95% i la tensió màxima en un 6,85%, millorant així el Factor de Seguretat en un 7,54%. I un dels avantatges principals d'aquesta proposta és que el preu no variaria, ja que el mètode de fabricació i el material són els mateixos.
- Com es pot observar a la taula de resultats, la proposta 3 presenta millores respecte a la llanda original. Es redueix la massa en un 15% i la inèrcia en un 15%. I un dels desavantatges principals d'aquesta proposta és que el preu seria superior, ja que el magnesi com a material de fabricació és més car que l'alumini 6061-T6(SS).
- La millor proposta és clarament la número 4, tot i que el preu sigui més elevat degut a utilitzar el magnesi com a material de fabricació, les prestacions milloren dramàticament baixant la massa un 41,65%, la inèrcia un 21,76% i el Factor de Seguretat millora un 7,54%. Això és gràcies a la millora en la geometria de la llanda i al canvi de material, millorant tot això el disseny inicial. Les modificacions fetes tenen un gran impacte reforçant les zones sotmeses a més tensió (els nervis de reforç entre els radis i el cercol de la llanda) i traient material a les zones menys sol·licitades (centre de la llanda).

Llanda	Original	Proposta 1	Proposta 2	Proposta 3	Proposta 4
Canvis respecte llanda original	-	Inversió direcció radis	Reforç àrees més sol·licitades i buidat centre de llanda	Material	Reforç àrees més sol·licitades, buidat centre de llanda i material
Massa (% millora)	8,925 kg (0%)		6,127 kg (31,35%)	7,586 kg (15%)	5,208 kg (41,65%)
Inèrcia (% millora)	1,119 kg*m ² (0%)		1,030 kg*m ² (7,95%)	0,951 kg*m ² (15%)	0,876 kg*m ² (21,76%)
Material	Alumini 6061-T6 (SS)			Aliatge de magnesi	
Densitat (% millora)	2700 kg/m ³ (0%)			2295 kg/m ³ (15%)	
Límit elàstic	275 MPa				
Tensió màxima Von Mises (% millora)	83,95 MPa (0%)	89,30 MPa (-6,37%)	78,20 MPa (6,85%)	83,95 MPa (0%)	78,20 MPa (6,85%)
Deformació unitària màxima (ESTRN) (% millora)	9,65*10 ⁻⁴ (0%)	9,53*10 ⁻⁴ (1,24%)	9,22*10 ⁻⁴ (4,46%)	9,65*10 ⁻⁴ (0%)	9,22*10 ⁻⁴ (4,46%)
Factor de seguretat (% millora)	3,27 (0%)	3,08 (-5,83%)	3,51 (7,54%)	3,27 (0%)	3,51 (7,54%)

Taula 24: Comparativa especificacions i resultats anàlisis totes les llandes

5 Pressupost

El pressupost d'aquest estudi està determinat pel nombre d'hores invertides. S'han invertit aproximadament 900 hores en tot l'estudi a un preu per hora de 52,17 € i un benefici industrial del 15%.

<i>Núm.</i>	<i>Concepte</i>	<i>Hores</i>	<i>Preu hora</i>	<i>Total</i>
1	Fase disseny conceptual	100 h	52,17 €/h	5.217,00 €
2	Fase disseny detallat	250 h	52,17 €/h	13.042,50 €
3	Fase anàlisi	350 h	52,17 €/h	18.259,50 €
4	Fase documentació de la memòria	200 h	52,17 €/h	10.434,00 €
	Subtotal iva no inclòs			46.953,00 €
	Benefici industrial 15%			7.042,95 €
	Subtotal iva no inclòs amb benefici industrial			53.995,95 €
	iva 21%			11.339,15 €
	Total iva inclòs			65.335,10 €

Taula 25: Pressupost de l'estudi

6 Conclusions

Les conclusions i els punts positius que es poden extreure d'aquest estudi són:

- S'ha demostrat que el principal problema del fre posterior és que el pes de la motocicleta es transfereix a la roda de davant durant la frenada i el pneumàtic posterior perd adherència i patina ràpidament. Per tant, no es pot aplicar una força elevada de frenada al pneumàtic posterior.
- S'ha demostrat que les forces més elevades que pateix la llanda posterior d'una motocicleta són degudes a l'acceleració i no a la frenada.
- La idea inicial que impulsa aquest projecte (invertir la direcció dels radis) no només no suposa una millora respecte la llanda original, sinó que té un Factor de Seguretat inferior, demostrant així que el disseny original és correcte suportant millor les càrregues.
- La millor proposta de les estudiades és la 4, tot i que el preu sigui més elevat degut a utilitzar el magnesi com a material de fabricació, les prestacions milloren dramàticament baixant la massa un 41,65%, la inèrcia un 21,76% i el Factor de Seguretat millora un 7,54%. Això és gràcies a la millora en la geometria de la llanda i, sobretot, al canvi de material, millorant tot això el disseny inicial. Les modificacions fetes tenen un gran impacte reforçant les zones sotmeses a més tensió (els nervis de reforç entre els radis i el cercol de la llanda) i traient material a les zones menys sol·licitades (centre de la llanda). Però el que més afecta a la millora de prestacions, és el canvi de material, ja que redueix la inèrcia més que les millores en la geometria (7,95% respecte el 15%) i, ajuntant ambdues millores, s'aconsegueix rebaixar la inèrcia encara més fins arribar a un 21,76%.

7 Futures accions

A continuació es citen futures accions que es poden efectuar per tal de perfeccionar i aprofundir l'estudi, fent-lo més real, i que complementen el treball realitzat.

- Els mitjans utilitzats (programa Solidworks, falta de normativa, inexistència d'informació tècnica de la llanda, etc.) fan que els resultats d'aquest estudi siguin limitats i podrien ser millorats i més exactes utilitzant ANSYS, disposant d'informació tècnica tant de la llanda, com de la normativa, dels materials...
- Per tenir uns resultats més fidels a la realitat, es podrien fer anàlisis:
 - o Dinàmics
 - o De fatiga
- Degut a que una motocicleta esportiva com aquesta (i conseqüentment la seva llanda també) pot assolir velocitats molt elevades, les forces aerodinàmiques que interactuen amb la llanda podrien tenir un efecte notable i seria una línia d'anàlisi molt prometedora.
- Es podria arribar a fabricar el model per poder fer comprovacions subjectives de les millores aconseguides en aquest estudi, implementant els punts anteriors.

8 Bibliografia

<https://dlc.iec.cat/Results?DecEntradaText=motocicleta&AllInfoMorf=False&OperEntrada=0&OperDef=0&OperEx=0&OperSubEntrada=0&OperAreaTematica=0&InfoMorfType=0&OperCatGram=False&AccentSen=False&CurrentPage=0&refineSearch=0>

<https://dlc.iec.cat/Results?DecEntradaText=llanda&AllInfoMorf=False&OperEntrada=0&OperDef=0&OperEx=0&OperSubEntrada=0&OperAreaTematica=0&InfoMorfType=0&OperCatGram=False&AccentSen=False&CurrentPage=0&refineSearch=0>

https://en.wikipedia.org/wiki/Motorcycle_wheel#cite_note-borraniamerica-3

<https://www.cycleworld.com/behind-design-motorcycle-wheels-from-archives/>

<https://www.boxrepsol.com/es/vive-tu-moto/tipos-llantas-cuales-adaptan-mejor-modelo-moto/>

<https://www.compositesworld.com/articles/carbon-fiber-has-designs-on-production-wheels>

<https://www.vividracing.com/blog/cast-wheels-vs-forged-wheels-whats-the-real-difference/>

<https://www.hertzocasion.es/coches-usados-blog-guia-completa-de-las-llantas-de-aleacion-aluminio-o-magnesio>

<http://www.brandonford.com/blog/benefits-of-carbon-fiber-wheels/>

<https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas>

<http://espaciomotos.com/honda-cbr-600-f-2003-ficha-tecnica/>

<https://www.cycleworld.com/middleweight-600cc-supersport-sportbike-comparison-test-review/>

<https://www.moto1pro.com/reportajes-motos/siglas-en-los-neumaticos-de-moto-que-significan>

9 Annexes

9.1 Annexes càlculs

9.1.1 Força frenada

Amb les dades de que disposem:

- Massa total (m): 300 kg
- Distància frenat (x): 19,2 metres
- Velocitat inicial (v_0): 13,88 m/s
- Velocitat final (v): 0 m/s (aturat)

I a partir de la fórmula $v^2 = v_0^2 + 2ax$, es troba que:

$$v^2 = v_0^2 + 2 * a * x \rightarrow a = \frac{v^2 - v_0^2}{2x} = \frac{0^2 - 13,88^2}{2 * 19,2} = 5,017 \cong 5 \text{ m/s}^2$$

L'acceleració màxima de frenada únicament amb el fre posterior és de 5,017 m/s², que aproximem a 5 m/s² per facilitar els càlculs.

I la força de frenada es calcula amb la fórmula $F = ma$, i dóna:

$$F_{Fre} = m * a_{Fre} = 300 * 5 = 1500N$$

9.1.2 Gir roda posterior

Amb les dades de que disposem:

- Velocitat lineal punt més allunyat roda (v): 33,33 m/s
- Dimensions pneumàtic: 180/55 R 17
- Diàmetre llanda: 17 polzades

El braç de palanca s'ha de calcular a partir de les dimensions del pneumàtic i el radi de la llanda:

$$\text{Diàmetre llanda} = 17 \text{ polzades} * \frac{0,0254 \text{ metres}}{1 \text{ polzada}} = 0,4318 \text{ metres}$$

$$\text{Radi llanda} = \frac{\text{Diàmetre llanda}}{2} = \frac{0,4318}{2} = 0,2159 \text{ metres}$$

$$\text{Alçada pneumàtic} = 180\text{mm} * 0,55 = 99\text{mm} = 0,099 \text{ metres}$$

$$\text{Braç palanca} = \text{Radi llanda} + \text{alçada pneumàtic} = 0,2159 + 0,099 = 0,315 \text{ metres}$$

A través de la següent fórmula, trobem la velocitat angular en RPM de la roda posterior:

$$w_{roda\ 120kmh} = \frac{v}{Braç\ de\ palanca} = \frac{33,33}{0,315} = 105,8 \frac{rad}{s} = 1010,5\ RPM$$

9.1.3 Força acceleració

Dades:

- Potència motocicleta: 108 cv a 12500 RPM=1309 rad/s
- Velocitat angular roda posterior: 1010,5 RPM=105,8 rad/s
- Gir motor a 33,33 m/s: 14000 RPM=1466 rad/s
- Distància centre roda amb el terra (D): 0.315 m

A potència màxima, la motocicleta va a 29,75 m/s (107 km/h) com es demostra a continuació:

$$\begin{aligned} \frac{w_{motor\ pot\ max}}{w_{motor\ 120kmh}} &= \frac{w_{roda\ pot\ max}}{w_{roda\ 120kmh}} \rightarrow w_{roda\ pot\ max} = \frac{w_{motor\ pot\ max}}{w_{motor\ 120kmh}} * w_{roda\ 120kmh} \\ &= \frac{1309}{1466} * 105,8 = 94,5\ rad/s \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_{roda\ pot\ max} &= \frac{v_{moto}}{D} \rightarrow v_{moto} = w_{roda\ pot\ max} * D = 94,5 * 0.315 = 29,75 \frac{m}{s} \cong \\ &\cong 107\ km/h \end{aligned}$$

Es calcula la força d'acceleració a partir de la potència màxima del motor mitjançant les següents fórmules:

$$Relació\ transmissió\ entre\ roda\ i\ motor\ (r) = \frac{1010,5\ RPM}{14000\ RPM} = 0,072$$

$$Pot = 108\ cv = 80535\ W$$

$$Pot = w * Parell \rightarrow Parell_{motor} = \frac{Pot}{w_{motor}} = \frac{80535}{1309} = 61,52\ Nm$$

$$r = \frac{Parell_{motor}}{Parell_{roda}} \rightarrow Parell_{roda} = \frac{Parell_{motor}}{r} = \frac{61,52}{0,072} = 854,4\ Nm \cong 850\ Nm$$

$$Parell_{motor} = F_{Acc} * D \rightarrow F_{Acc} = \frac{Parell_{motor}}{D} = \frac{850}{0.315} = 2698,4\ N \cong 2700\ N$$

$$* Parell_{roda} = 850\ Nm$$

9.1.4 Pes total

Dades:

- Massa total: 300 kg
- Acceleració gravetat: 9,8 m/s²

Es calcula el pes multiplicant la massa per la gravetat, amb un resultat de 3000 N:

$$Pes = m * a = 300 * 9,8 = 2940 \text{ N} \cong 3000 \text{ N}$$

9.1.5 Densitats malla model FEM

Dades:

- Nombre d'elements llandes originals i proposada 3: 329493 elements
- Volum llandes originals i proposada 3: 3305700 mm³
- Nombre d'elements llanda proposada 1: 329625 elements
- Volum llanda proposada 1: 3305730 mm³
- Nombre d'elements llandes proposada 2 i 4: 285751 elements
- Volum llandes proposada 2 i 4: 2269430 mm³

S'han calculat a partir del nombre d'elements i el volum mitjançant el següent càlcul:

$$Densitat \text{ malla} = \frac{\text{Nombre d'elements}}{\text{Volum de la llanda}}$$

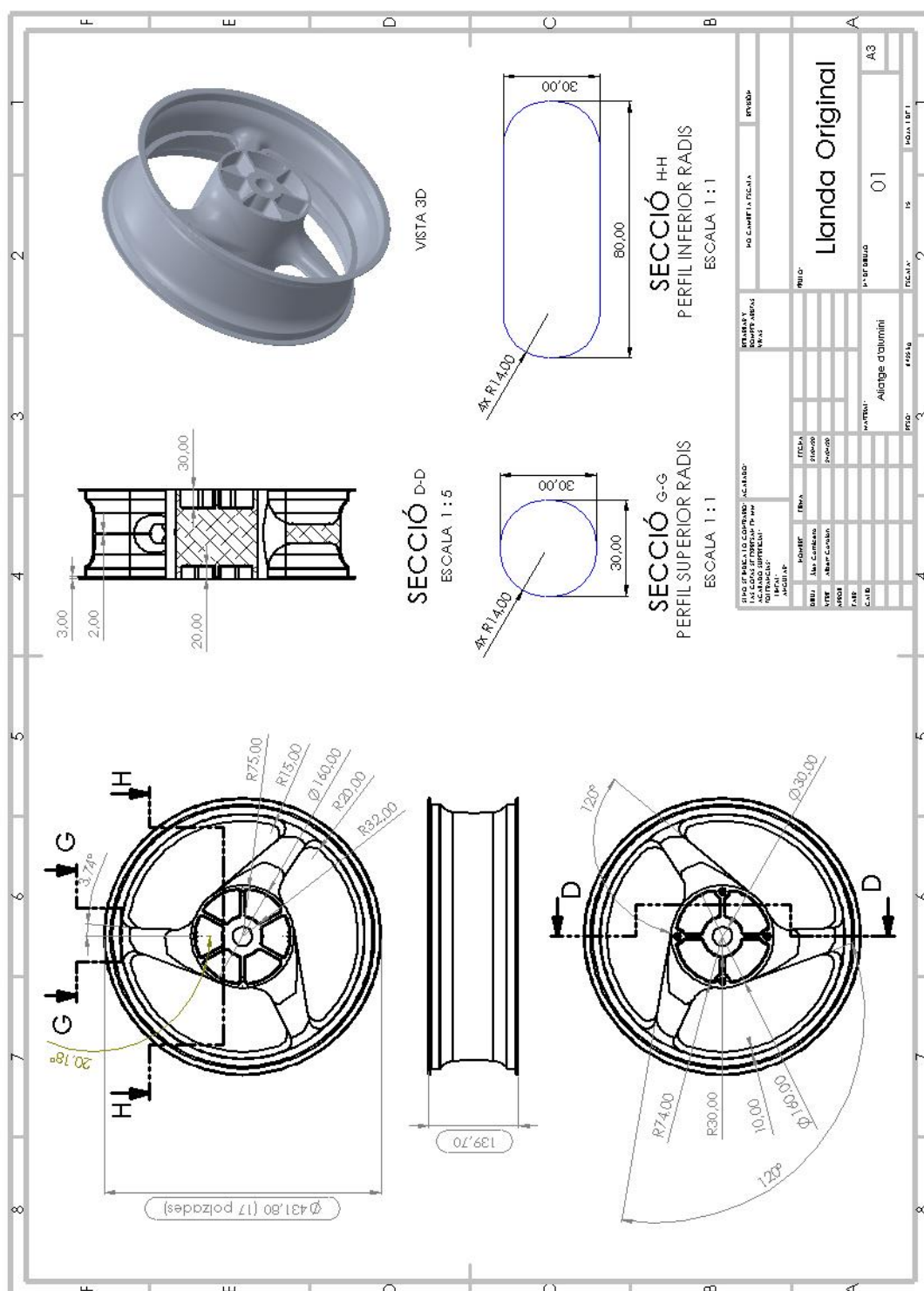
$$Densitat \text{ malla}_{original i 3} = \frac{329493}{3305700} = 0,099 \text{ elements/mm}^3 \cong 0,1 \text{ elements/mm}^3$$

$$Densitat \text{ malla}_1 = \frac{329625}{3305730} = 0,099 \text{ elements/mm}^3 \cong 0,1 \text{ elements/mm}^3$$

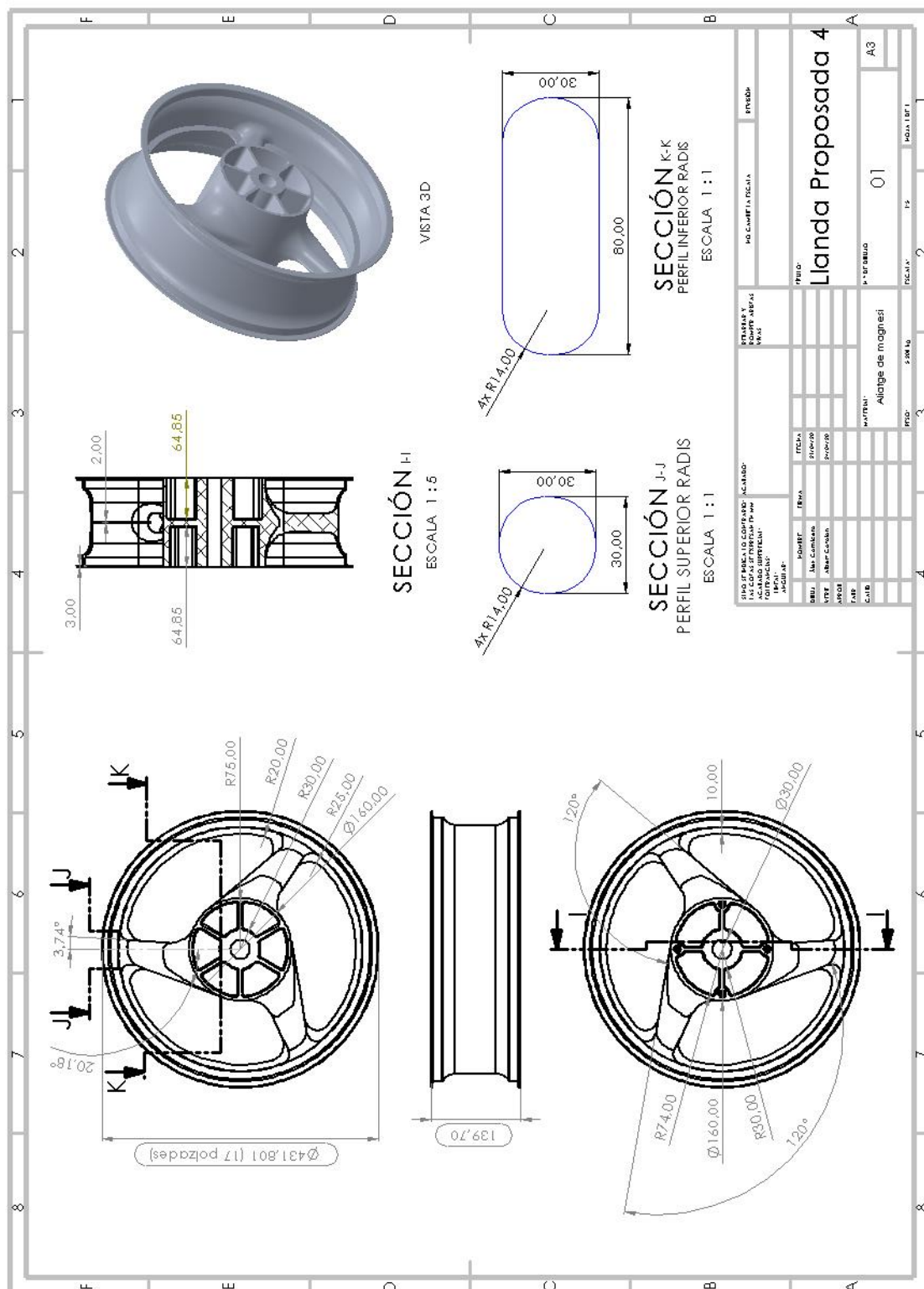
$$Densitat \text{ malla}_{2 i 4} = \frac{285751}{2269430} = 0,126 \text{ elements/mm}^3$$

9.2 Annexes plànols

9.2.1 Plànol llanda original

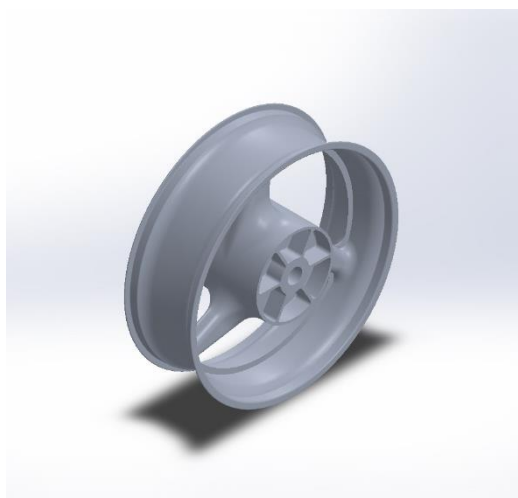


9.2.2 Plànol llanda proposada 4



9.3 Annexes Reports de SolidWorks

9.3.1 Report simulació llanda inicial a 60°



Descripción

No hay datos

Simulación de Llanda inicial

Fecha: domingo, 19 de abril de 2020

Diseñador: Àlex Carnicero Cortés

Nombre de estudio: Análisis estático 3 (60°)

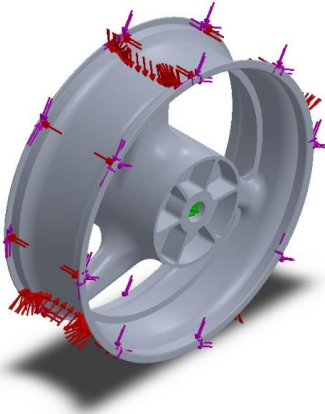
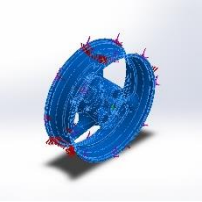
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

DESCRIPCIÓN	67
SUPOSICIONES	68
INFORMACIÓN DE MODELO	68
PROPIEDADES DE ESTUDIO	69
UNIDADES	69
PROPIEDADES DE MATERIAL	70
CARGAS Y SUJECIONES	71
DEFINICIONES DE CONECTOR	72
INFORMACIÓN DE CONTACTO	72
INFORMACIÓN DE MALLA	73
DETALLES DEL SENSOR	74
FUERZAS RESULTANTES	75
VIGAS	75
RESULTADOS DEL ESTUDIO	76

Suposiciones

Información de modelo

 <p>Nombre del modelo: Llanda inicial Configuración actual: Default</p>			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Simetría2 	Sólido	Masa:8,9248 kg Volumen:0,0033057 m ³ Densidad:2.699,82 kg/m ³ Peso:87,463 N	H:\TFG\Llanda inicial.SLDPRT Apr 19 14:03:11 2020

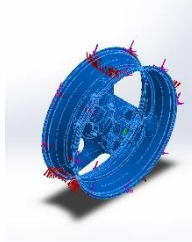
Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Análisis estático 3 (60°)
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Activar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (H:\TFG)

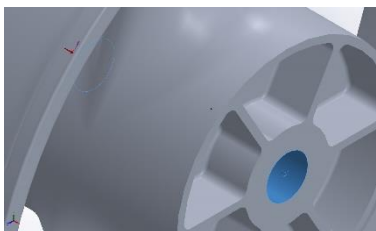
Unidades

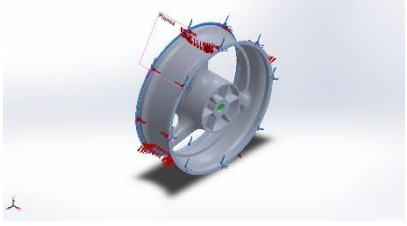
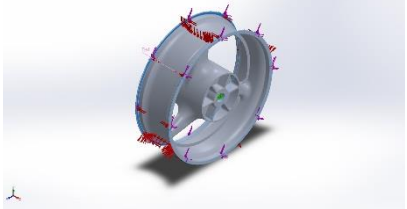
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

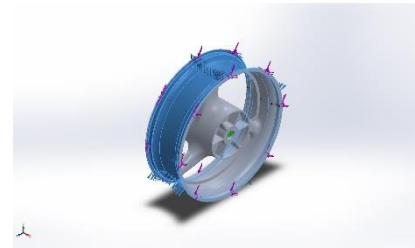
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: 6061-T6 (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 2,75e+08 N/m² Límite de tracción: 3,1e+08 N/m² Módulo elástico: 6,9e+10 N/m² Coeficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.700 kg/m³ Módulo cortante: 2,6e+10 N/m² Coeficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin	Sólido 4(Simetría2)(Llenda inicial)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-2		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-6,75917e-05	838,267	-3.948,07	4.036,08
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 2 cara(s), 1 plano(s) Referencia: Plano6 Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; -2.700; 3.000 N
Torsión-1		Entidades: 2 cara(s) Referencia: Eje1 Tipo: Aplicar momento torsor Valor: -850 N.m

Presión-1		Entidades: 11 cara(s) Tipo: Normal a cara seleccionada Valor: 0,32 Unidades: N/m^2 Ángulo de fase: 0 Unidades: deg
-----------	---	---

Definiciones de conector

No hay datos

Información de contacto

No hay datos

Información de malla

Tipo de malla	Malla sòlida
Mallador utilizado:	Malla estàndar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	7,90489 mm
Tolerancia	0,395244 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	526028
Número total de elementos	329493
Cociente máximo de aspecto	35,411
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	97,1
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,0118
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:02:22
Nombre de computadora:	



Información sobre el control de malla:

Nombre del control de malla	Imagen del control de malla	Detalles del control de malla
Control-1		<div>Entidades: 1 Sólido(s)</div> <div>Unidades: mm</div> <div>Tamaño: 4,01658</div> <div>Cociente: 4,01658</div>

Detalles del sensor

No hay datos

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-6,75917e-05	838,267	-3.948,07	4.036,08

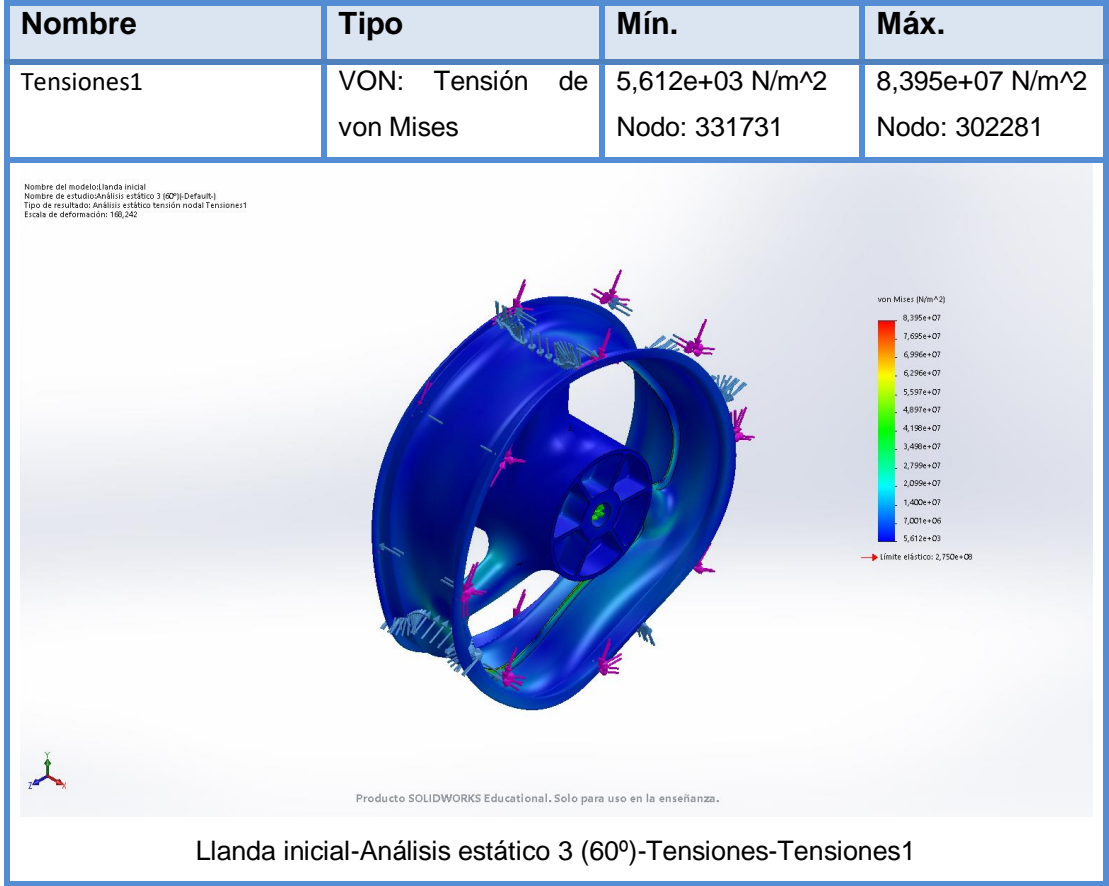
Momentos de reacción

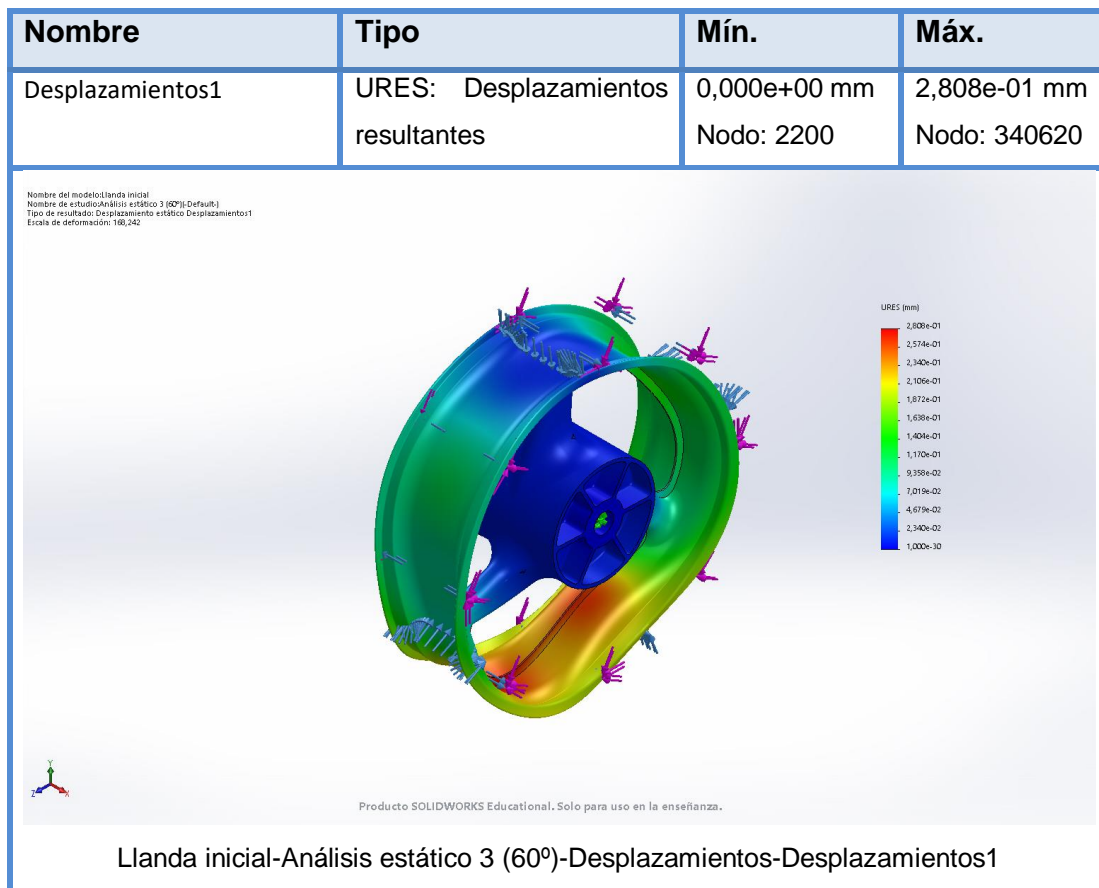
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

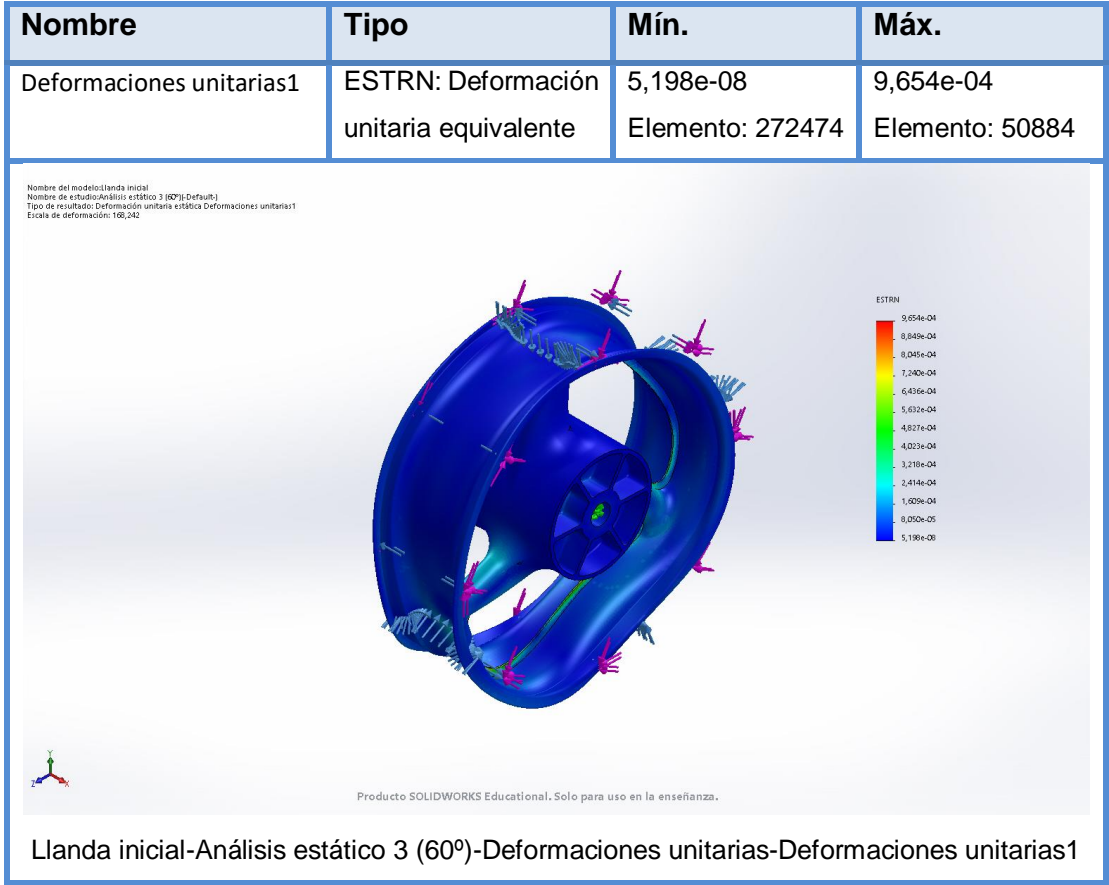
Vigas

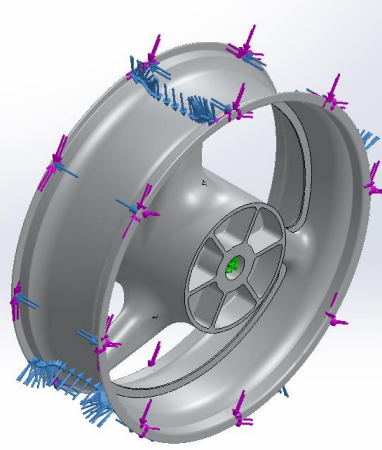
No hay datos

Resultados del estudio

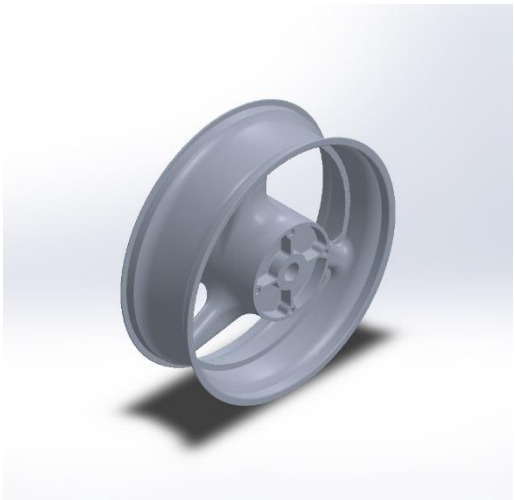






Nombre	Tipo
Desplazamientos1{1}	Deformada
<div> <p> <small> Nombre del modelo: llanda inicial Nombre de estudio: Análisis estático 3 (60°) (Default) Tipo de resultado: Deformada Desplazamientos1{1} Escala de deformación: 1 </small> </p>  <p> <small> Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza. </small> </p> <p>Llanda inicial-Análisis estático 3 (60°)-Desplazamientos-Desplazamientos1{1}</p> </div>	

9.3.2 Report simulació llanda proposada 1 a 0°



Descripción

No hay datos

Simulación de Llanda
proposada 1

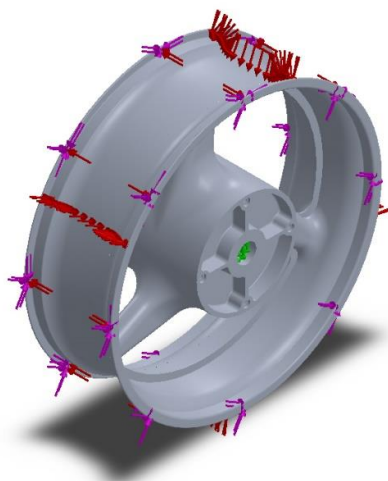
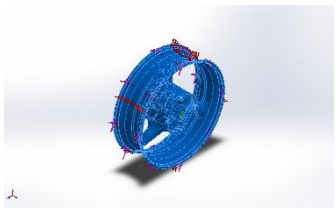
Fecha: lunes, 20 de abril de 2020
Diseñador: Àlex Carnicero Cortés
Nombre de estudio: Análisis estático 2 (30°)
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

DESCRIPCIÓN	80
SUPOSICIONES	81
INFORMACIÓN DE MODELO	81
PROPIEDADES DE ESTUDIO	82
UNIDADES	82
PROPIEDADES DE MATERIAL	83
CARGAS Y SUJECIONES	84
DEFINICIONES DE CONECTOR	85
INFORMACIÓN DE CONTACTO	85
INFORMACIÓN DE MALLA	86
DETALLES DEL SENSOR	87
FUERZAS RESULTANTES	88
VIGAS	88
RESULTADOS DEL ESTUDIO	89

Suposiciones

Información de modelo

 <p>Nombre del modelo: Llanda proposada 1 Configuración actual: Default</p>			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
MatrizC3 	Sólido	Masa:8,93186 kg Volumen:0,00330573 m ³ Densidad:2.701,93 kg/m ³ Peso:87,5322 N	H:\TFG\Llanda proposada 1.SLDPRT Apr 20 11:30:07 2020

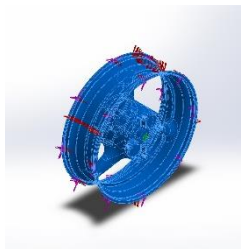
Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Análisis estático 2 (30°)
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Activar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (H:\TFG)

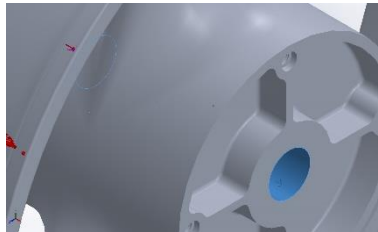
Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

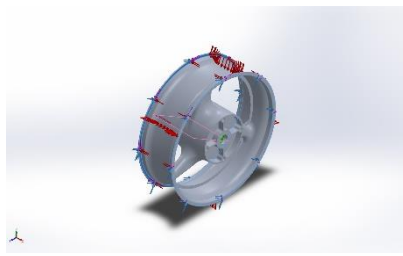
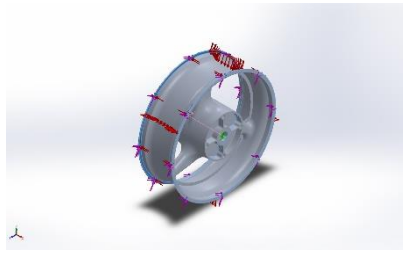
Propiedades de material

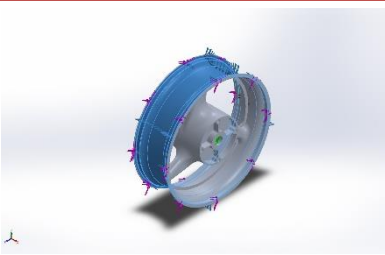
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: 6061-T6 (SS)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 2,75e+08 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 3,1e+08 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 6,9e+10 N/m²</p> <p>Coeficiente de Poisson: 0,33</p> <p>Densidad: 2.700 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 2,6e+10 N/m²</p> <p>Coeficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin</p>	<p>Sólido</p> <p>4(MatrizC3)(Llanda proposada 1)</p>
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-2		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija

Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-1,4931e-05	-1.248,08	3.838,27	4.036,09
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 2 cara(s), 1 plano(s) Referencia: Plano7 Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; -2.700; -3.000 N
Torsión-1		Entidades: 2 cara(s) Referencia: Eje1 Tipo: Aplicar momento torsor Valor: 850 N.m

Presión-1		<p>Entidades: 11 cara(s)</p> <p>Tipo: Normal a cara seleccionada</p> <p>Valor: 0,32</p> <p>Unidades: N/m²</p> <p>Ángulo de fase: 0</p> <p>Unidades: deg</p>
-----------	---	--

Definiciones de conector

No hay datos

Información de contacto

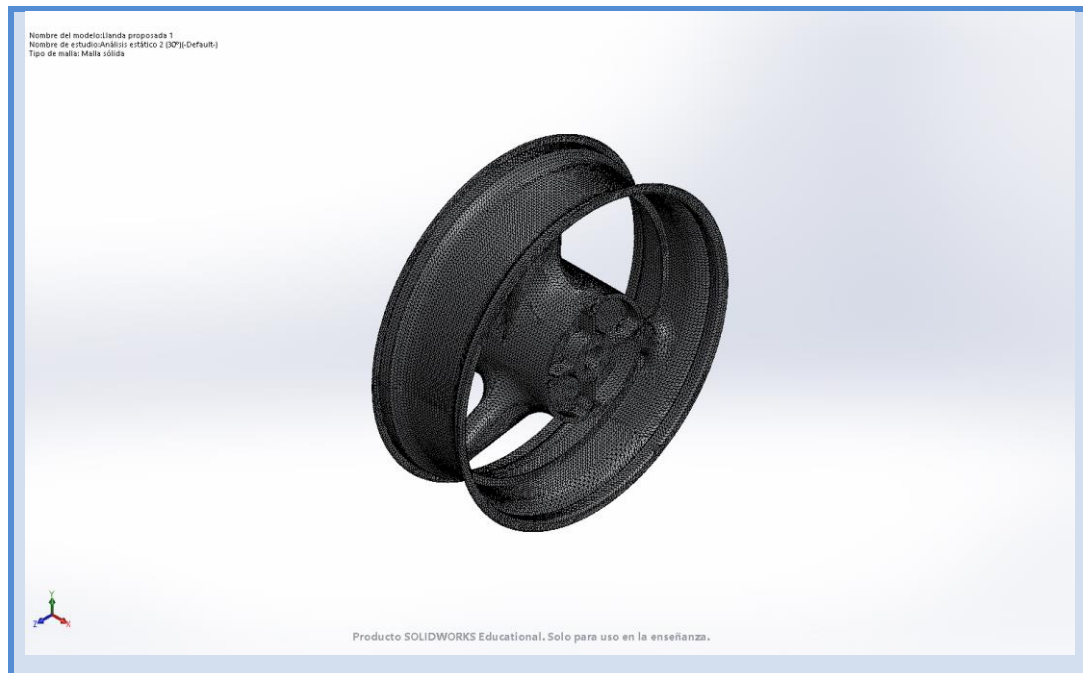
No hay datos

Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	7,90489 mm
Tolerancia	0,395244 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	526493
Número total de elementos	329625
Cociente máximo de aspecto	19,888
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	97,2
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,0115
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:02:49
Nombre de computadora:	



Información sobre el control de malla:

Nombre del control de malla	Imagen del control de malla	Detalles del control de malla
Control-1		Entidades: 1 Sólido(s) Unidades: mm Tamaño: 4,01658 Cociente: 4,01658

Detalles del sensor

No hay datos

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-1,4931e-05	-1.248,08	3.838,27	4.036,09

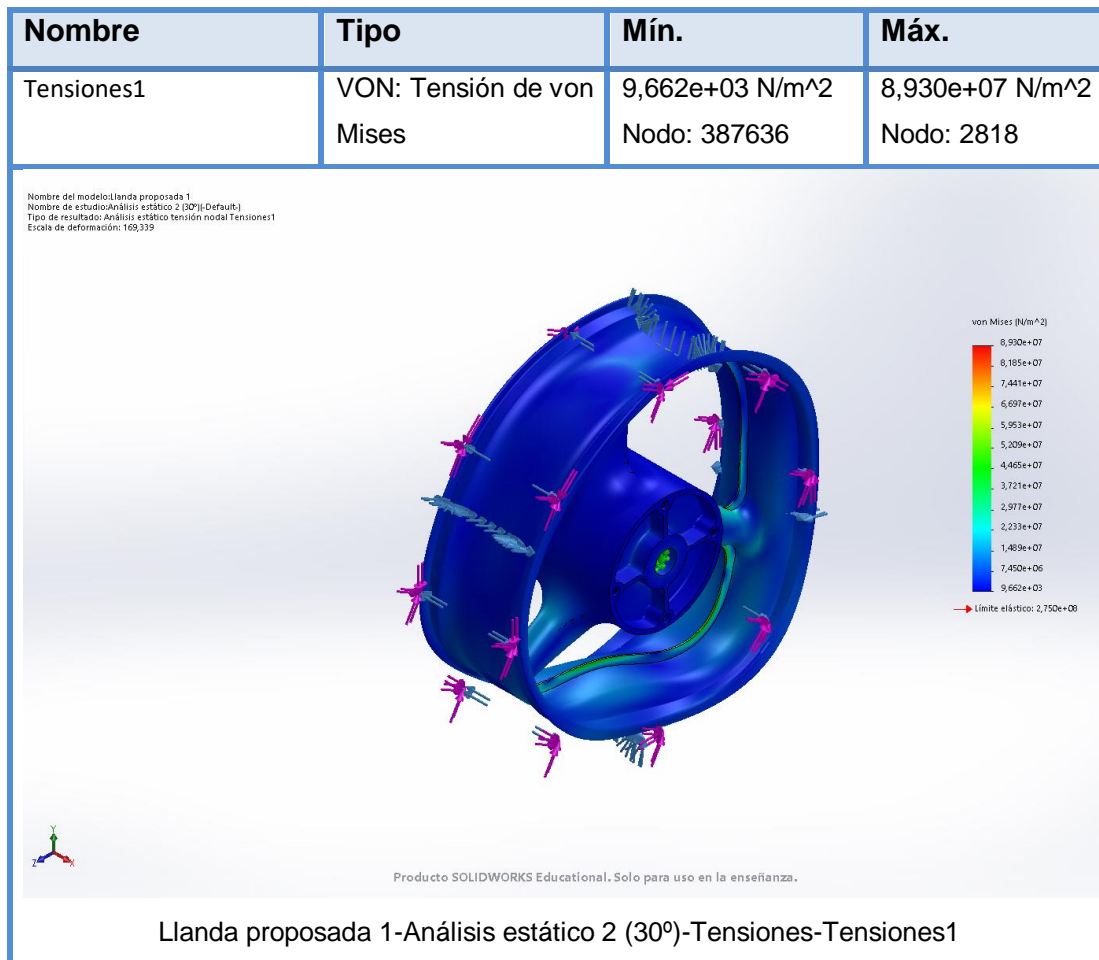
Momentos de reacción

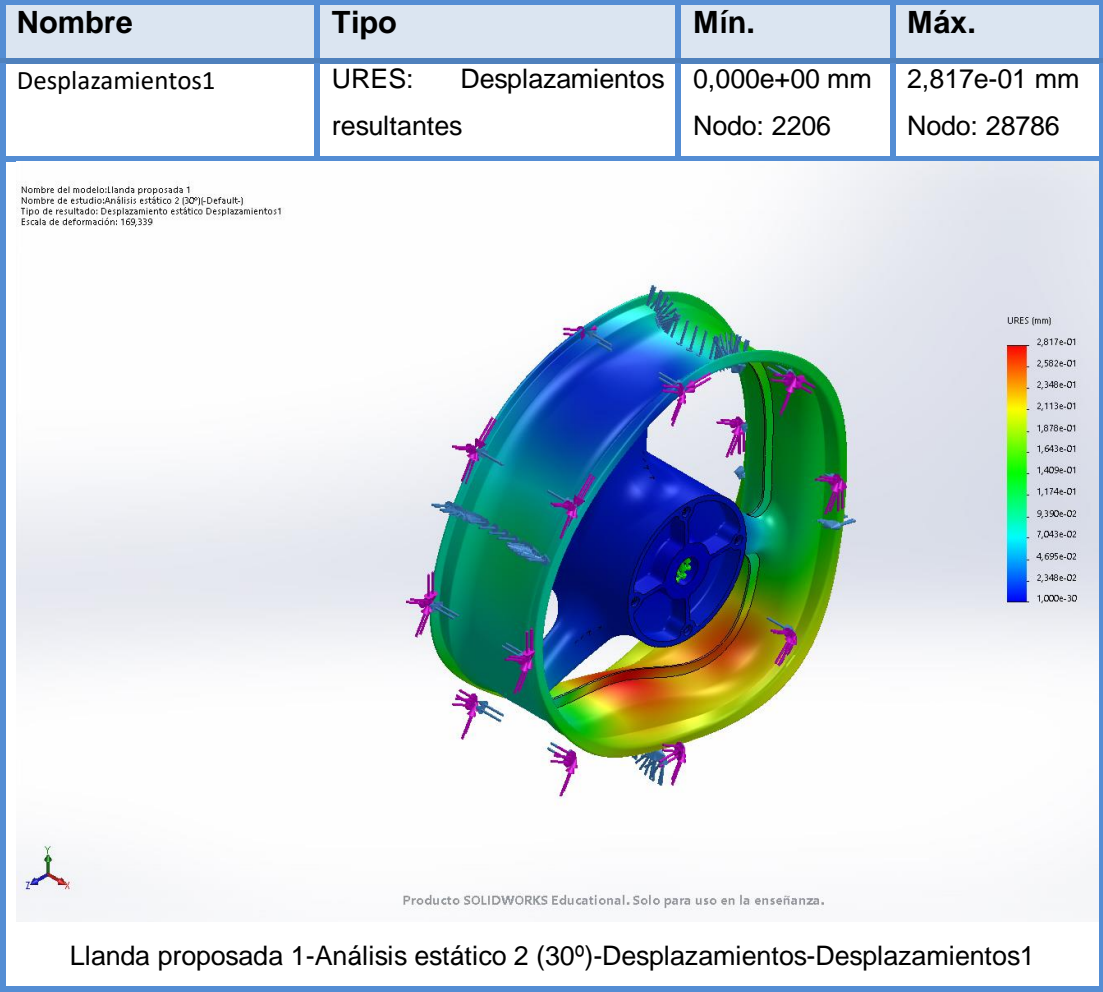
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

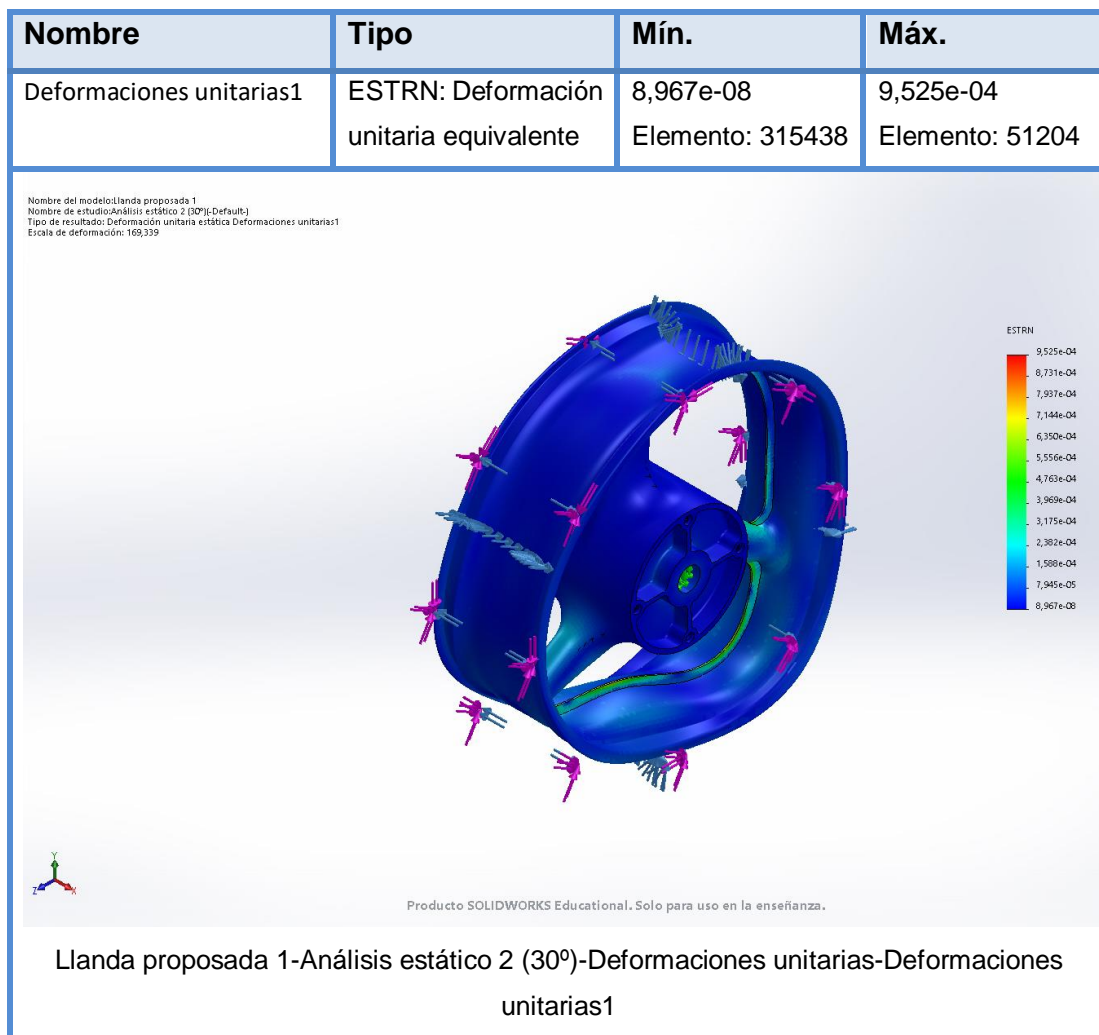
Vigas

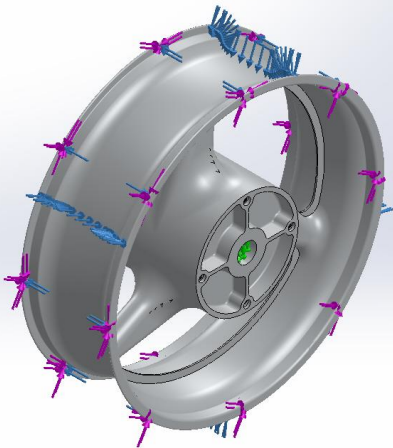

No hay datos

Resultados del estudio

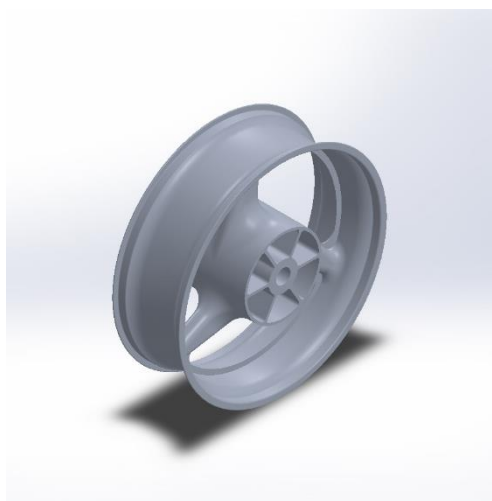






Nombre	Tipo
Desplazamientos1{1}	Deformada
<div><div><div>Nombre del modelo:Llanta propuesta 1 Nombre de estudio:Análisis estático 2 (30°)(Default) Tipo de resultado: Deformada Desplazamientos1{1} Escala de deformación: 1</div><div></div></div><div><div></div><div>Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.</div></div></div>	
Llanta propuesta 1-Análisis estático 2 (30°)-Desplazamientos-Desplazamientos1{1}	

9.3.3 Report simulació llanda proposada 2 a 60°



Simulación de Llanda proposada 2

Fecha: lunes, 20 de abril de 2020

Diseñador: Àlex Carnicero Cortés

Nombre de estudio: Análisis estático 4 (90°)

Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

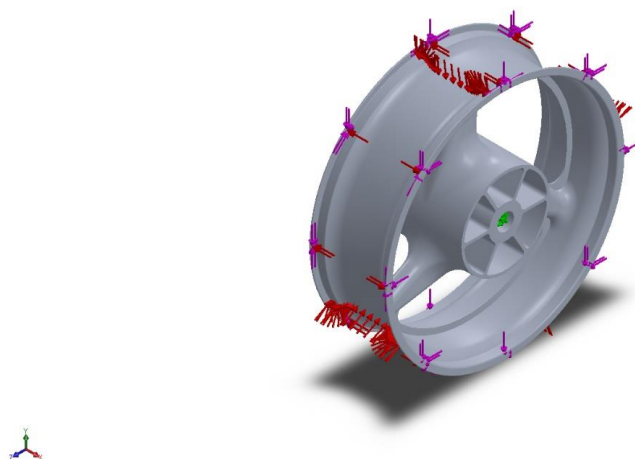
DESCRIPCIÓN	93
SUPOSICIONES.....	94
INFORMACIÓN DE MODELO	94
PROPIEDADES DE ESTUDIO	95
UNIDADES	95
PROPIEDADES DE MATERIAL	96
CARGAS Y SUJECIONES.....	97
DEFINICIONES DE CONECTOR	98
INFORMACIÓN DE CONTACTO.....	98
INFORMACIÓN DE MALLA	99
DETALLES DEL SENSOR	100
FUERZAS RESULTANTES	101
VIGAS	101
RESULTADOS DEL ESTUDIO	102

Descripción

No hay datos

Suposiciones

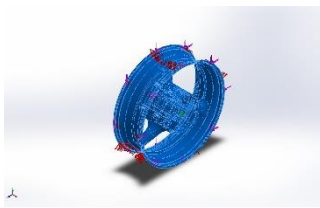
Información de modelo



Nombre del modelo: Llanda proposada 2

Configuración actual: Default

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Simetría2 	Sólido	Masa:6,12687 kg Volumen:0,00226943 m ³ Densidad:2.699,74 kg/m ³ Peso:60,0433 N	H:\TFG\Llanda proposada 2.SLDPRT Apr 20 15:04:05 2020

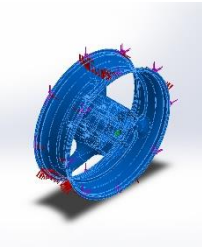
Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Análisis estático 4 (90°)
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Activar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (H:\TFG)

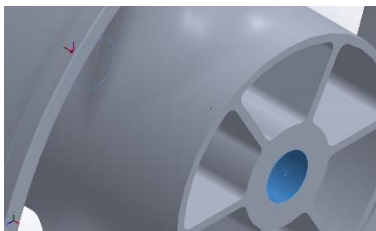
Unidades

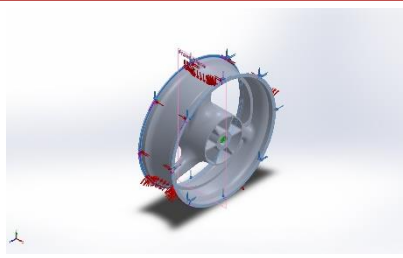
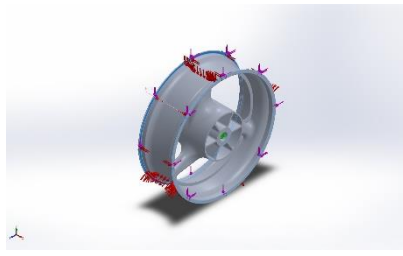
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

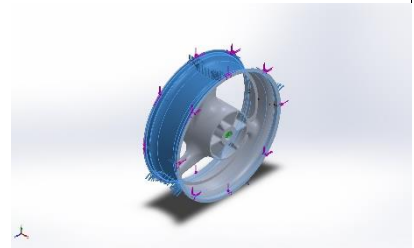
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: 6061-T6 (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 2,75e+08 N/m² Límite de tracción: 3,1e+08 N/m² Módulo elástico: 6,9e+10 N/m² Coeficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.700 kg/m³ Módulo cortante: 2,6e+10 N/m² Coeficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin	Sólido 4(Simetría2)(Lland a inicial transició)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-2		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	5,68107e-06	2.699,99	-2.999,98	4.036,07
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 2 cara(s), 1 plano(s) Referencia: Front Plane Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; -2.700; 3.000 N
Torsión-1		Entidades: 2 cara(s) Referencia: Eje1 Tipo: Aplicar momento torsor Valor: -850 N.m

Presión-1		Entidades: 11 cara(s) Tipo: Normal a cara seleccionada Valor: 0,32 Unidades: N/m^2 Ángulo de fase: 0 Unidades: deg
-----------	---	---

Definiciones de conector

No hay datos

Información de contacto

No hay datos

Información de malla

Tipo de malla	Malla sòlida
Mallador utilizado:	Malla estàndar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	7,90489 mm
Tolerancia	0,395244 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	478290
Número total de elementos	285751
Cociente máximo de aspecto	35,343
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	96,7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,0175
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:03:33
Nombre de computadora:	



Información sobre el control de malla:

Nombre del control de malla	Imagen del control de malla	Detalles del control de malla
Control-1		Entidades: 1 Sólido(s) Unidades: mm Tamaño: 4,01658 Cociente: 4,01658

Detalles del sensor

No hay datos

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	5,68107e-06	2.699,99	-2.999,98	4.036,07

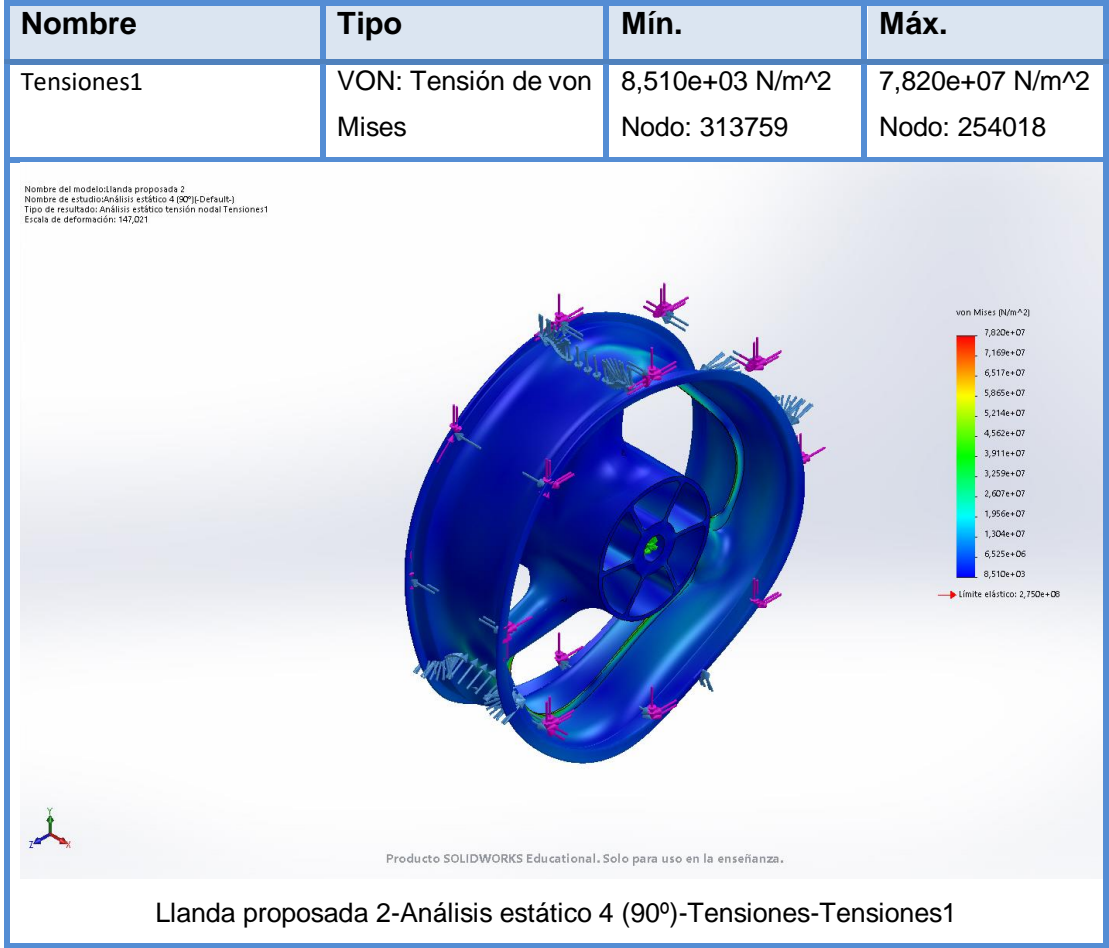
Momentos de reacción

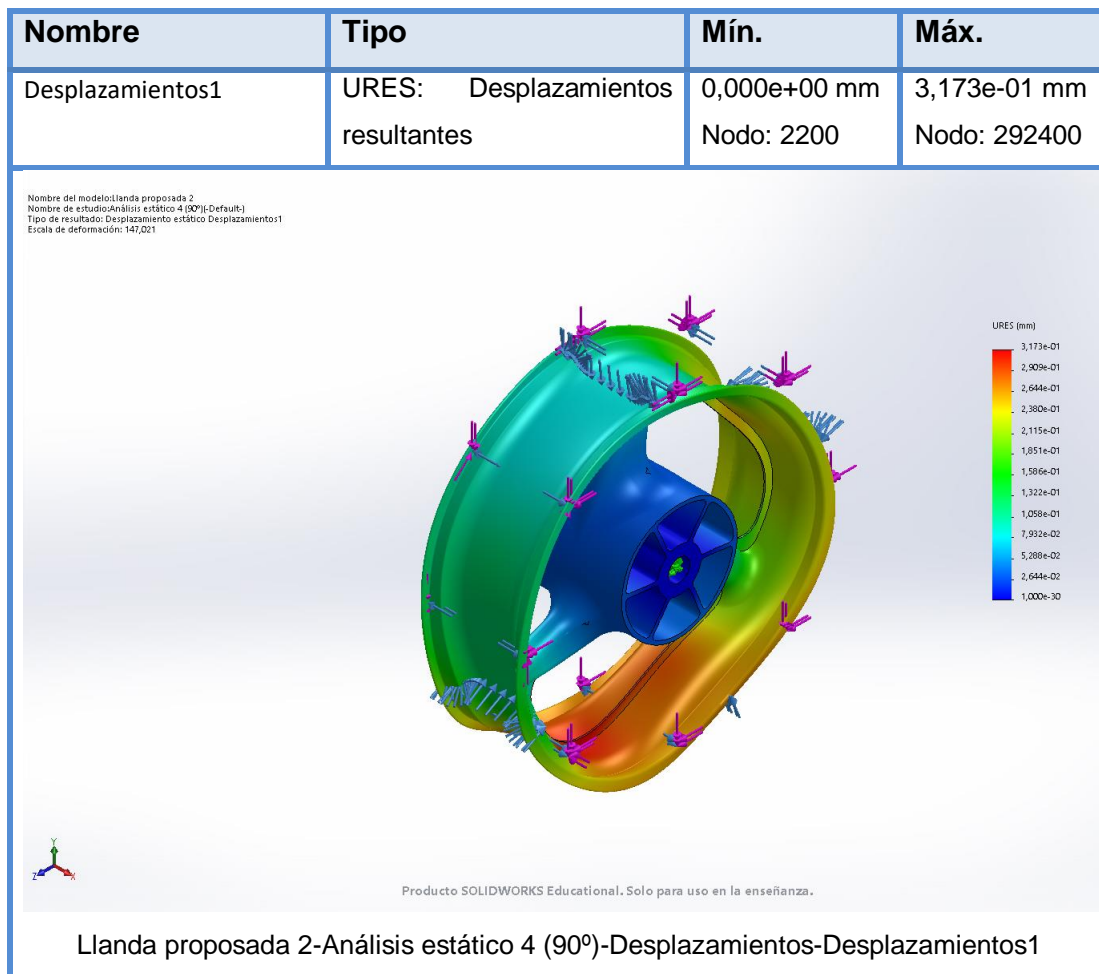
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

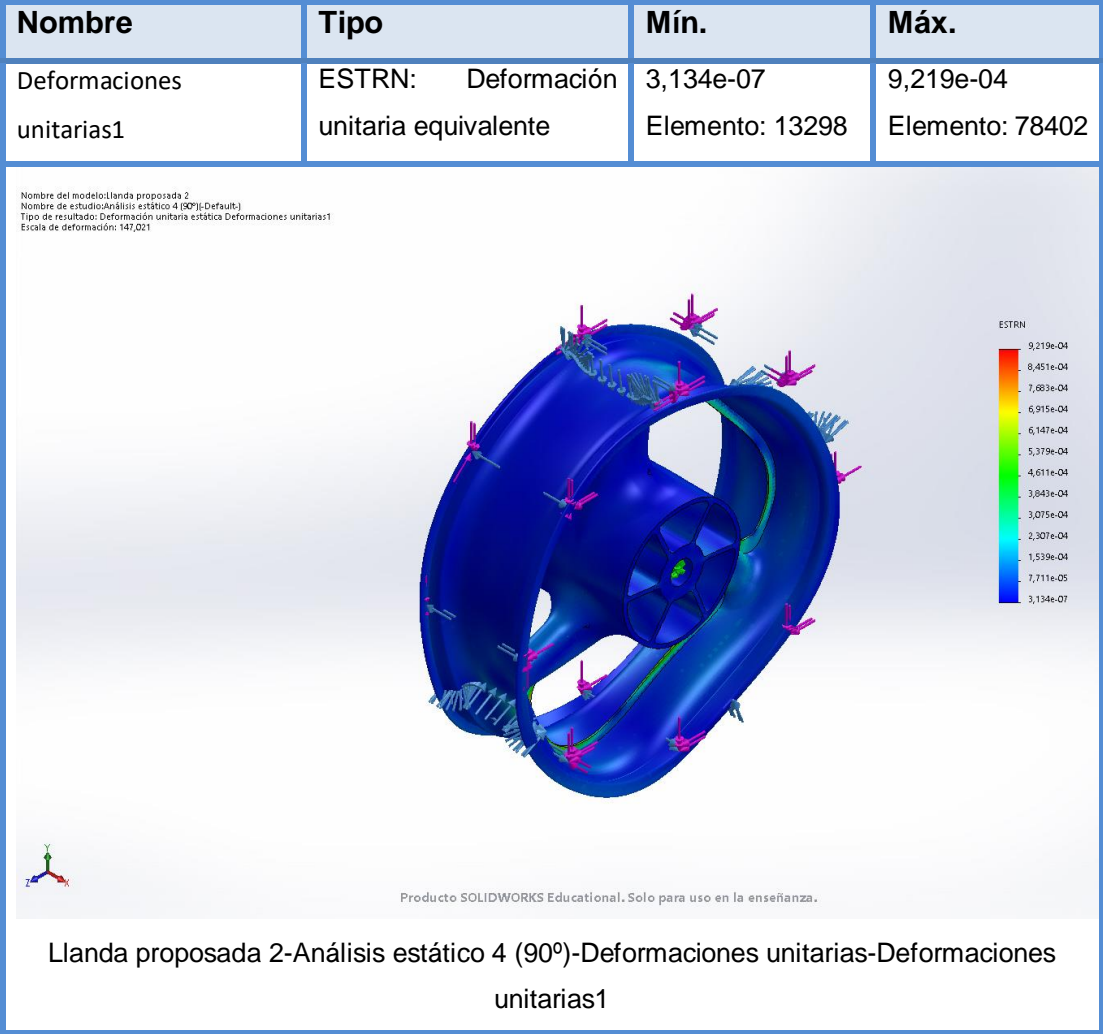
Vigas

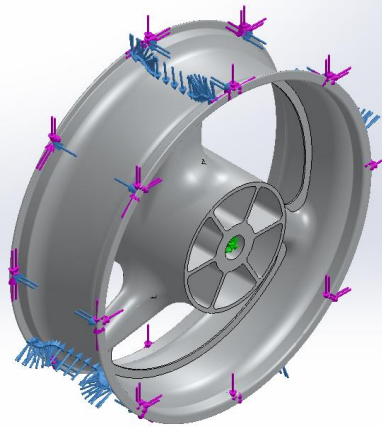
No hay datos

Resultados del estudio







Nombre	Tipo
Desplazamientos1{1}	Deformada
<p> <small> Nombre del modelo: llanda proposta 2 Nombre de estudio: Análisis estático 4 (90°) Tipo de resultado: Deformada Desplazamientos1{1} Escala de deformación: 1 </small> </p>  <p>Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.</p>	
Llanda proposada 2-Análisis estático 4 (90°)-Desplazamientos-Desplazamientos1{1}	